

**Evaluación de un Sistema de Poligeneración para la Sostenibilidad Energética en el  
Corregimiento Cañaveral-Bolívar.**



**Miguel Ángel Domínguez Anaya**

**Tesis para optar al grado de:  
Magister en Eficiencia Energética y Energía Renovables**

**Tutor: PhD Ing. Adalberto José Ospino Castro  
Cotutor: PhD (c). Ing. John William Grimaldo Guerrero**

**Universidad de la Costa  
Programa Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables  
Barranquilla  
2020**

### **Agradecimientos**

Estas líneas de agradecimiento, es un reconocimiento a todas las personas que de alguna manera u otra contribuyeron al desarrollo de este trabajo de tesis.

Agradezco en primer lugar a mi tutor de tesis y cotutor los Doctores Adalberto José Ospino Castro y John William Grimaldo Guerrero respectivamente, por su dedicación y apoyo durante la elaboración de esta tesis.

La universidad de la Costa, por habernos dado los conocimientos científicos, técnicos y éticos y la mejor educación que pudiésemos pedir.

A mis compañeros de maestría que de una u otra forma contribuyeron a despejar dudas y engrandecer conocimientos.

A todos mil gracias

### **Dedicatoria**

A:

Mi Dios, todopoderoso y misericordioso desde mis profundos sentimientos te doy las gracias por iluminarme, ser mi guía y fuente de sabiduría.

Mi familia, a mis hijas Laura y Melisa, al gran apoyo de Xiomara Hernández H que me dieron fuerzas en este largo caminar.

A mi hermano el Ingeniero Alfredo Dominguez Anaya, a su esposa Mónica Menahem y a mis sobrinos Yasir, Isaac, Ashar por el apoyo espiritual en esta ardua tarea.

A mis hermanas que siempre han estado en mis momentos difíciles, a mi hermano Rafael Eliecer que me acompañó a mis visitas de campo para el desarrollo de este trabajo.

### Resumen

El proyecto de maestría contempla la implementación de un sistema de Poligeneración utilizando los recursos energéticos renovables como el solar, eólico y el combustible diésel como respaldo en la generación de energía eléctrica con el fin de garantizar la sostenibilidad y confiabilidad para la prestación del servicio a la comunidad del sector los Olivos Corregimiento de Cañaveral del Municipio de Turbaco Bolívar. El sistema está integrado por: una estación solar fotovoltaica, una planta de energía eólica de mediana potencia, y un generador a partir del diésel; con la implementación del sistema se busca garantizar un consumo mínimo diario de energía para 35 viviendas del sector. El proyecto se realizó en las siguientes etapas 1. Describir los conceptos de la Poligeneración, los balances técnicos, económicos y ambientales, 2 Caracterizar la demanda energética en la zona de influencia y caracterizar potencial de recursos energéticos disponibles en la zona de estudio mediante una base de datos, 3 Analizar la viabilidad técnico-económica del sistema de poligeneración a través del modelamiento con software especializado. La metodología empleada es mixta, por la integración de los sub-estudios en todas las fases del proyecto. La simulación del sistema mediante el software Homer Pro arrojó un VPN de \$1,045.869.000.0 COP, costo de operación \$34,351.610.0 COP y un LCOE 963.38 \$/kWh. El sistema genera 211.517 kWh/año de energía eléctrica, siendo el sistema eólico el principal generador con 162.918 kWh/año, el sistema fotovoltaico 41.417 kWh/año y el diésel 7,182 kWh/año, cuya participación es 77%, 19.6% y 3.4% respectivamente.

**Palabras clave:** Optimización, poligeneración, Sostenibilidad, Energías renovables

### **Abstract**

The Master's project contemplates implementing a polygeneration system using reviewable energetic resources such as solar, Eolic and diesel fuel as a backup in generating electric energy to guarantee sustainability and reliability for providing the service to the community in the Olivos sector in the township of Cañaveral Municipality of Turbaco, Bolivar. The system is integrated by a photovoltaic solar station, a medium power eolic energy plant, and a diesel generator. By implementing the system, we seek to guarantee the minimum daily consumption of 35 homes in the area. The project was done in the following stages: 1. Describe the polygeneration, technical, economic and environmental balance concepts. 2. Characterize the energy demand in the influence zone and characterize the potential of energetic resources available in the study zone through a data base. 3. Analyze the technical economic feasibility of the polygeneration system by modeling with specialized software. The methodology used is mixed by integrating the sub-studies in all the phases of the project. The system simulation through the Homer Pro software gave an NPV of \$1,045.869.000.00 COP, operation cost \$34, 351.610.00 COP and a LCOE 963.38 \$/kWh. The system generates 211.517 kWh/year, the eolic system 162.918 kWh/year, photovoltaic system 41.417 kWh/year, and the diesel 7,182 kWh/year, with a participation of 77%, 19.6% y 3.4% respectively.

**Keywords:** Optimization, polygeneration, sustainability, renewable energy

## Contenido

Lista de tablas y figura .....	10
Acrónimos .....	13
Simbología.....	14
Capítulo I.....	15
Introducción.....	15
Estado del arte .....	17
Planteamiento del problema.....	23
Justificación.....	25
Objetivo.....	27
Objetivo general.....	27
Objetivos específicos. ....	27
Normatividad y Reglamento .....	27
Ley 1715 del 2014.....	28
Resolución CREG 030 de 2018 .....	28
Resolución 1283 de agosto 2016 .....	29
Capítulo II.....	29
Zona de estudio .....	29
Descripción de los conceptos de poligeneración, los balances técnicos económicos y ambientales .....	30
Poligeneración.....	30

Concepto de balance técnico económico .....	30
Balance Ambiental .....	33
Caracterización de la demanda en la zona de influencia.....	34
Condiciones solares y eólicos de la zona .....	35
Radiación solar en el Corregimiento de Cañaveral .....	36
Descripción general del generador fotovoltaico.....	37
Características de los componentes.....	41
Generador fotovoltaico. ....	41
Inversores.....	41
Temperatura del panel.....	42
Descripción general del generador eólico.....	43
Características generales y escogencia del aerogenerador.....	44
Características técnicas y eléctricas .....	45
Características del generador diésel dimensionamiento .....	45
Metodología del cálculo del sistema fotovoltaico.....	46
Metodología de cálculo del aerogenerador .....	48
Metodología de cálculo para el análisis estadístico de la velocidad del viento .....	49
Metodología para la obtención de una tabla de frecuencia y duración de la velocidad del viento .....	49
Metodología para el cálculo del perfil vertical de la velocidad del viento .....	50
Modelo matemático para evaluar la energía eólica disponible .....	51

Caracterización potencial de recursos energéticos disponibles en la zona de estudio a través de bases de datos .....	52
Potencial eólico de la zona.....	53
Validación del sistema de poligeneración con un software especializado .....	56
Evaluación Técnica .....	57
Rentabilidad Económica y Financiera .....	58
Capítulo III .....	64
Análisis de la radiación solar .....	64
Análisis estadístico de la velocidad del viento.....	65
Análisis de Weibull de la velocidad del viento.....	66
Análisis del generador diésel.....	66
Resultados de la simulación en el software Homer Pro. ....	67
Análisis Económico-financiero.....	75
Influencia de la energía en la rentabilidad del proyecto .....	75
Indicadores económicos -financieros.....	77
Análisis Energético.....	83
Evaluación Ambiental .....	85
Conclusiones .....	89
Referencias .....	91
ANEXOS.....	104
Anexo 1 .....	104
Anexo 2 .....	106



Anexo 3 .....	107
Anexo 4 .....	108
Anexo 5 .....	109
Anexo 6 .....	110
Anexo 7 .....	110

### Lista de tablas y figura

#### Tablas

Tabla 1 Costo anual de O&M de instalaciones solares y eólicas .....	32
Tabla 2_promedio del periodo 1981 al 2019 de la velocidad del viento, corregimiento de cañaveral .....	37
Tabla 3_Características del panel solar.....	41
Tabla 4_Características técnicas Leonics MTP 413 F.....	42
Tabla 5_Generación según tipo de aerogenerador.....	44
Tabla 6_Especificaciones técnicas Bergey Excel 10 R 10 kW.....	45
Tabla 7_Generador 25 kW Genset.....	45
Tabla 8_Estadístico de la velocidad del viento Cañaveral.....	55
Tabla 9_ImpORTE-interés-cuota.....	61
Tabla 10_Flujo de amortizaciones .....	62
Tabla 11_Flujo económico y financiero .....	63
Tabla 12_Generación eléctrica Bergey Excel 10 R a 4,51 m/s.....	65
Tabla 13_Prueba de bondad de ajustes para la velocidad.....	66
Tabla 14_Simulación de los elementos de configuración.....	68
Tabla 15_Costos principales.....	69
Tabla 16_valor presente neto por componentes.....	69
Tabla 17_Costo anualizado por componente.....	69
Tabla 18_Producción total de electricidad .....	70
Tabla 19_Cantidad anual .....	70
Tabla 20_valor nominal del arreglo.....	70
Tabla 21_Comportamiento del arreglo PV .....	71
Tabla 22_valor nominal de la turbina Bergey Excel .....	71
Tabla 23_Comportamiento de la turbina .....	71
Tabla 24_valor nominal del generador Genset 25 kW- diésel.....	72

Tabla 25	Comportamiento del generador diésel .....	72
Tabla 26	Costo anual de combustible .....	72
Tabla 27	Valor nominal del arreglo de la batería .....	73
Tabla 28	Comportamiento del arreglo de la batería.....	73
Tabla 29	Parámetro de la batería a escala anual.....	73
Tabla 30	Operación-energía-pérdidas.....	74
Tabla 31	Emisiones del sistema.....	74
Tabla 32	Análisis de sensibilidad .....	74
Tabla 33	Precio de la energía vs Retorno inversión.....	75
Tabla 34	Precio de la energía vs Retorno inversión.....	76
Tabla 35	Precio de la energía vs retorno inversión .....	77
Tabla 36	Precio de la energía vs retorno inversión .....	77
Tabla 37	Evaluación económica.....	78
Tabla 38	Evaluación financiera.....	78
Tabla 39	Inversión costo de oportunidad.....	78
Tabla 40	Ponderación.....	79
Tabla 41	Indicadores financieros.....	79
Tabla 42	Presupuesto general del sistema de Poligeneración Sector olivos (Cañaveral).....	106

## **Figuras**

Figura 1	Zona del proyecto Sector los Olivos Cañaveral Turbaco Bolívar.....	29
Figura 2	Perfil de demanda energética del sector los olivos.....	35
Figura 3	Atlas Solar IDEAM .....	36
Figura 4	Promedio de radiación mensual zona de estudio con datos de la NASA.....	37
Figura 5	Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V .....	38
Figura 6	Factores de relleno a diferentes niveles de potencia .....	39
Figura 7	Curva I-V Radiación solar.....	40

Figura 8 Curva I-V -temperatura .....	40
Figura 9 Proceso de transformación de energía eólica en energía eléctrica en un aerogenerador.....	43
Figura 10 Radiación solar mensual y promedio anual.....	53
Figura 11 Diagrama de Pareto .....	64
Figura 12 Frecuencia relativa vs Velocidad del viento.....	65
Figura 13 Porcentaje acumulado vs Velocidad del viento.....	66
Figura 14 Arquitectura del sistema.....	68
Figura 15 Relación entre el costo de energía y periodo retorno de la inversión.....	76
Figura 16 VAN simulación vs VAN Excel.....	80
Figura 17 TIR- Pay Back- Rentabilidad adicional de la simulación vs Cálculos en Excel .....	80
Figura 18 Generación PV -Eólica.....	81
Figura 19 Arquitectura sistema conectado a red.....	82
Figura 20 Comparación de la VAN en los diferentes sistemas simulados .....	83
Figura 21 Conexión del sistema.....	86
Figura 22 Emisiones con solo el generador diésel.....	87
Figura 23 Cantidad de exceso de emisiones con generación diésel.....	88
Figura 24 Producción de electricidad de los generadores PV-Eólico- Diésel .....	104

**Acrónimos**

Acrónimo	Significado
AWEA	Asociación americana de energía eólica
CCA	Análisis de correlación canónica
ESS	Sistema de Almacenamiento de Energía
EVA	Valor económico agregado
FNCER	Fuente No convencional de energía renovable
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IEA	Agencia Internacional de Energía
IRENA	Agencia Internacional de Energía Renovables
LCOE	Costo Nivelado de Energía
LPSP	Probabilidad de pérdida de suministro de energía
NASA	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
O&M	Operación y Mantenimiento
OECD	Organización para la economía y cooperación y Desarrollo
ppm	Partes por millón
RB/C	Relación-Beneficio Costo
RES	Fuente de Energías Renovables
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
SISP	Súper Intendencia de Servicios Públicos
SPM	Smart Polygeneration Microgrid
TIR	Tasa Interna de Retorno
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
VAN	Valor presente neto
WACC	Costo promedio ponderado de capital

**Simbología**

Zref	Altura de referencia
A	Amperios
AC	Corriente Alterna
D	Diámetro
DC	Corriente Directa
DoD	Profundidad de descarga
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
P(Vi)	Densidad de probabilidad
$\rho$	Densidad del aire
S(Vi)	Duración de la probabilidad del viento
E	Energía necesaria
f	Frecuencia
fA	Frecuencia acumulada
FV	Fotovoltaicas
fr	Frecuencia relativa
frA	Frecuencia relativa acumulada
GW	Gigavatios
h	Hora
hr	Horas
kW	Kilovatios
kWh	Kilovatios hora
MWh	Megavatios hora
Np	Numero de paneles
Pp	Potencia Pico
SoC	Estado de carga
Zo	Rugosidad del suelo
W	Vatios
V	Voltios
v	Velocidad
Vref	Velocidad de referencia

## **Capítulo I**

### **Introducción**

La dependencia mundial de los combustibles fósiles como el petróleo, carbón y nucleares, pueden considerarse relativamente abundantes pero finitas, sin embargo las coyunturas económicas y geopolíticas relacionadas con su dominio y distribución geográfica han comenzado a iniciar en muchos países la necesidad de iniciar una transición hacia la utilización de recursos energéticos de carácter renovables; que a su vez contribuya con las necesidades de poblaciones que carecen de energía eléctrica y de servicios básicos.

Los sistemas solares fotovoltaica y la eólica en estos últimos años constituyen las aplicaciones más utilizadas en zonas no interconectadas y en sectores urbanos con población vulnerable, por lo que la energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial (Chacón Serna, Moreno Amaya , & Hernandez Mora, 2016); “desde 2010 a 2017 las incorporaciones anuales aumentaron en 97 GW, lo mismo sucede con la energía eólica, que se ha expandido en 50 GW al año durante los últimos 5 años”. (Wanner, 2019).

En Colombia se ha generado la legislación para promover el uso de las energías renovables mediante la Ley 1715 de 2014, no obstante, su uso no es muy amplia.

En el 2016 las Empresas Públicas de Medellín en su exposición “Regulación Sector Eléctrico, Situación Actual y Perspectivas” explicaron que hay un déficit de oferta con energía hidroeléctrica y que el cubrimiento de éste es a base de generación termoeléctrica, pero 1 MWh por año equivale a 221 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmosfera. En este contexto, países han ajustado sus políticas energéticas para promover el uso de energías renovables. (Higuera Aguilar & Carmona Valencia, 2017).

El interés de esta investigación sobre la poligeneración (integración de los sistemas fotovoltaico, eólico y diésel) surge para resolver un problema de un sector vulnerable que carece del servicio de energía eléctrica que sea eficiente y sostenible en el tiempo, así mismo

la de profundizar y dar apoyo de este tema al grupo de investigación (GIOPEN) de la Universidad de la Costa debido a que las energías renovables comienzan a proyectarse por la sostenibilidad de las futuras generaciones ,por su impactos positivos con el medio ambiente (bajas emisiones) y la generación de energía eléctrica mediante las nuevas tecnologías renovables .

Se organiza la estructura del documento en tres capítulos:

Capítulo 1: corresponde a la revisión del estado del arte en relación con las instalaciones que han sido implementadas en décadas pasadas y actuales, y se desarrollan el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos además de la normatividad y reglamento que se relacionan con las energías renovables.

Capítulo 2: se describen los conceptos del sistema de poligeneración, la caracterización de la demanda energética, las condiciones atmosférica de la zona de estudio; se abordan los aspectos técnicos de los sistemas solar, eólico y diésel, así mismo la metodología de cálculo usada en cada una de ellas; en este mismo capítulo se realiza la caracterización potencial de los recursos de la zona de estudio y las evaluaciones técnicas y económicas y la validación del sistema de poligeneración en el software Homer Pro.

Capítulo 3: hace referencia a los análisis estadísticos y a los resultados de la simulación realizada en Homer Pro, además se esbozan el análisis de los costos presentes y futuros para llevar a cabo la recuperación de la inversión; así como los beneficios y los posibles proyectos que generaría el sistema de poligeneración.

La propuesta es un esquema descentralizado de Poligeneración que presenta ventajas técnicas y económicas. Los clientes cada día requieren altos estándares de confiabilidad en el suministro de energía, lo que se propone en este proyecto, es precisamente tener un sistema que suministre energía eléctrica confiable al sector los Olivos del corregimiento de Cañaveral mediante la utilización de las energías limpias como la solar y la-eólica.



### **Estado del arte**

La calidad de vida de una sociedad se mide mediante parámetros, tales como los servicios básicos necesarios como el agua potable, luz eléctrica y gas domiciliario. A pesar de su gran importancia, muchas poblaciones en el mundo no cuentan con alguna de ellas e inclusive con ninguna de las dos. Para la prestación del servicio de energía eléctrica se usan diferentes sistemas de generación sea con fuentes de energía convencional o no convencional; en la primera por el inconveniente de extender su red a comunidades rurales dispersas y con difícil acceso no es posible prestar el servicio, pero los sistemas basados en fuentes de energías renovables han demostrado ser adecuado para proveer energía eléctrica a las comunidades aisladas y de forma autónoma.

El acceso a la energía no solo hace referencia a las fuentes energéticas o a la electricidad, sino que proporciona acceso a otros servicios: nuevas oportunidades de pequeñas y mediana industrias, la oportunidad de procesar alimentos y conservarlo por un periodo de tiempo, mejorar los centros sanitario y educativos etc. (De la Sota Sandéz, 2013).

Se han realizado muchas investigaciones en diferentes países del Mundo con diferentes opciones de tecnologías y formas de evaluación, además distintas configuraciones de los recursos de energías renovables, entre ellos: en Argelia (norte de África), (Diaf, Diaf, Behamel, Haddadi, & Louche, 2007), desarrollaron y utilizaron un modelo de optimización de un sistema autónomo híbrido de energía fotovoltaica - eólica con almacenamiento de batería. La metodología que utilizaron tiene como objetivo encontrar la configuración entre un grupo de componentes del sistema, que cumpla con los requisitos deseados de confiabilidad del sistema, con el valor más bajo del costo nivelado de energía, mediante dos pasos, el primero se refiere al procedimiento óptimo de dimensionamiento, el segundo es optimizar el tamaño de un sistema de acuerdo con los concepto de pérdida de probabilidad

del suministro de energía (LPSP) y el costo nivelado de energía. (C. Miranda, Szklo, & Schaeffer, 2014)

Para obtener la confiabilidad del sistema, en Etiopía, (Bekele, 2017), realizó un estudio donde el eje principal era el requerimiento de energía confiable en un área rural mediante cuatro configuraciones: (generador / batería hidro / diésel), (generador / batería solar / diésel), (generador / batería hidro / diésel), (generador / batería solar / diésel), la metodología utilizada para el diseño fueron: perfil de carga por hora, datos de flujo, radiación solar mensual para el sistema fotovoltaico, costo inicial de cada componente (generadores de energía renovables, generadores diésel, batería, convertidor), costo de combustible diésel, tasa de interés real del proyecto; el software utilizado para el estudio fue mediante Homer, el resultado de sistema propuesto arrojó un LCOE relativamente alto a la tarifa nacional, pero por la escasez de energía a nivel nacional, la resistencia a la deforestación, el desarrollo de energía limpia, y el cambio de vida de los pobres en regiones remotas, concluyeron que el sistema era una solución altamente recomendable.

En México se llevó a cabo el desarrollo y simulación de un sistema de energía eólica – solar y diésel para el suministro de energía eléctrica a una zona rural donde no se cuenta con la red de distribución de energía eléctrica, el sistema está integrado por módulos fotovoltaicos, aerogeneradores y generador diésel. (Corral Ponce, Villalba Garcia, Caberta Ñeco, & Valenzuela, 2014), ellos señalan que los costos iniciales en los sistemas a base de energía solar y eólica son mayores que un generador a base de diésel, sin embargo los costos de operación y mantenimiento se reducen drásticamente para los sistemas de energía renovables y que estos sistemas deben llenar el criterio de modularidad, robustez y simplicidad además de requerir bajo mantenimiento.

En las Islas Canarias los autores (Prats Ávila, Alesanco, & Alonso Veliz, 2011), modelan los sistemas híbridos con base a energías renovables que garantizan las necesidades

energéticas en plantas desaladoras de osmosis inversas con una capacidad de 50 m<sup>3</sup> de producción diaria; a fin de obtener la combinación optima mediante el uso del software especializado HOMER, además confirman que desde el punto técnico económico son más efectivas y fiables para el abasto de la energía eléctrica, y de ser necesario se complementan con grupos electrógenos dejándolo solo para casos de emergencia. Ellos asumen para el sistema fotovoltaico un costo por watts instalado a siete dólares y unos valores de potencia entre 0 y 320 kW, lo cual permitirá que el software seleccione la potencia optima en cada caso. Con respecto al sistema eólico tienen en cuenta la velocidad del viento y las curvas de potencia nominales para su escogencia.

Un caso de estudio en Sri Lanka, (Givler & Lilienthal, 2005), argumentan que los sistemas híbridos es una opción más viable, incluso con altos costos de combustible; el análisis lo realizó mediante el software Homer donde evalúa una gama de equipos con diferentes opciones y con diferentes diseños con o sin generador de respaldo; y que el precio del combustible se vuelve importante cuando se crea una carga no servida durante todo el año, lo contrario sucede cuando se requería alta confiabilidad en este tipo de sistema.

En Chile, (Mata Nuñez, Villalva Ortiz, & Behnke Palma, 2013), proponen un nuevo paradigma relacionado con las redes eléctricas, conocido como Microrredes, con énfasis en aquellas que deben operar en comunidades aisladas, se analiza el manejo de un sistema de energía que gira en torno a la participación de la comunidad de Huatacondo con miras a un aumento de su sustentabilidad, integrando los recursos renovables con la generación diésel de una forma centralizada pero aislada, y que los impactos que se generan en la comunidad tienen efectos positivos, el consumo de combustible diésel se reduce en un 50%, la calidad de la energía aumenta así como la confiabilidad del sistema.

En un análisis de la dinámica funcional del sistema de innovación del desarrollo de la energía eólica, se señala que una forma de expresar el costo de la energía eólica es calculando

el Costo Nivelado de la Energía (LCOE) que es un indicador utilizado por el departamento de Energía de los EEUU para evaluar los costos del ciclo de vida de los proyectos de generación de Energía; es un método estándar que sirve para comparar varias energías energéticas y tiene 4 entradas básicas: el costo de capital instalado, gastos operacionales anuales, la producción anual de energía y la tasa de cambio fija. (Mardonez, 2013).

El autor (Morales Sanchez, 2013), en su artículo de investigación, estimaron la tarifa de alimentación residencial que incentive la energía fotovoltaica en Colombia con la metodología que combina el análisis de punto de equilibrio propuesto por Rigter y Vidican (2010), la metodología se obtuvo mediante tres pasos, el primero con una representación del desempeño del sistema fotovoltaico residencial urbano sin la tarifa preferencial, a través de la modelación del software Homer. Segundo con los datos arrojados por el programa se calculó la prima como la solución de una función valor presente neto que iguala a cero los ingresos y egresos. Tercero, se incluye la tarifa calculada en el software, se refina el cálculo de la tarifa misma y se obtiene información sobre su impacto en la compra y generación de energía en la vivienda.

En España, (Fragoso Pissioti, 2017), su investigación estaba relacionada a un sistema de hibridación; parte de la demanda energética se cubre a partir de energías limpias, y por la generación por grupos electrógenos que serán utilizados parcialmente, dándose la transición de energía limpias y sostenibilidad energética al gobierno local. La metodología aplicada de la investigación se inicia mediante los siguientes pasos: la curva de carga del consumo promedio mensual, radiación solar mensual con el mes más desfavorable, potencia fotovoltaica, inflación y tasas de interés, precio combustible, costo de administración y mantenimiento, costos de equipos (Paneles solares, baterías, inversores); la simulación la realizaron con el software Homer ya que puede evaluar una variedad de configuraciones.

A principio del siglo XXI, la sociedad humana enfrenta dos grandes desafíos, la transición al desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Las fuentes de energía pueden jugar un papel importante en la superación de ambos desafíos. La extensión de red eléctrica en áreas rurales puede ser muy costosos, pero el uso de sistemas de energía renovables a pequeñas escalas fuera de la red puede proporcionar electricidad a un precio razonable, son puntos de vista de (Forcano, 2003). donde su investigación tuvo como objetivo el estudiar una variedad de proyectos de energía renovable para la electrificación rural en Chile a fin de extraer algunas conclusiones de la experiencia obtenida al implementarlos; el diseño de la electrificación rural se realizó en seis etapas: 1- estimación de la demanda, 2- evaluación de los recursos renovables mediante recopilación de datos, 3- evaluación de la infraestructura local (transporte, suministro de combustible, servicio técnico etc.), 4- análisis económico la selección del sistema y diseños de proyectos donde se tienen en cuenta los altos costos iniciales de la tecnología y bajos costos de operación y mantenimiento. 5- compra de equipos y un instalador calificado, 6- formación de técnicos locales y educación de los usuarios.

Los investigadores (Werner Ortega & Cabrera Errasti, 2012) utilizaron el software Homer que es la herramienta seleccionada para simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico, que es capaz de manejar múltiples variantes de diseño, la metodología empieza con: 1- características principales del software Homer, 2- los recursos energéticos disponible, 3- la demanda eléctrica, 4- escogencia del sistema fotovoltaico, eólico, acumuladores, inversores, 5- configuración del sistema. Los autores confirman que estos dos sistemas logran un mayor nivel de complementación debido a que los meses de marzo a octubre se registran mayores velocidades del viento promedio y en el periodo alterno de octubre a marzo se registran los mayores valores de radiación, por lo tanto, cuando una de las dos fuentes presenta niveles bajos, la otra presenta niveles altos. También argumentan, que la calidad de

cada variante en cuanto a la fiabilidad del sistema está estrechamente relacionada con la demanda insatisfecha.

Se emplea el sistema fotovoltaico y eólico para reducir la generación diésel a un 10 % de su utilización, y dejarlo como respaldo ya que el mismo generador diésel puede cubrir la demanda, investigación realizada en Cuba por (Borges Rodriguez & Sera sarmiento, 2014), además, señalan que entre los aspectos a valorarse para la valoración del sistema de electrificación rural son usualmente los técnicos económicos, pero posteriormente se ha encontrado la necesidad de valorar múltiples criterios considerando los aspectos ambientales y sociales, sobre todo las tecnologías convencionales que son generadoras de emisiones de gases contaminantes de acuerdo al porcentaje de combustible diésel que empleen.

Se estudió la potencia de energía eléctrica en un sistema híbrido autónomo para la electrificación de un poblado con 1900 habitantes en Kenia, (Fikari Gkiala, Sigarchian Gahem, & Chamorro R, 2017), puntualizan que para diseñar un sistema de energía lo primero que debe hacerse es decidir sobre la demanda de energía, el consumo que el sistema debe satisfacer y los posibles servicios adicionales que se puede proporcionar. El siguiente paso es diseñar el sistema que pueda cubrir estas cargas, proceso que se llevara mediante Homer ya que resulta una configuración tecnológicamente optimizada, claro está con previa investigación exhaustiva para encontrar datos sobre los costos locales y los equipos que se comercializan en la región, para que el resultado sea lo más cercano posibles a las condiciones reales; posteriormente el sistema debe modelarse y simularse de modo que su funcionamiento pueda monitorearse en intervalos de tiempos más pequeños y una estrategia de administración de energía pueda probarse analíticamente en Simulink Matlab; una opción que Homer no proporciona.

La principal preocupación en el diseño de un sistema de energía fotovoltaico y eólico es determinar el tamaño de cada componente que participa en el sistema para que la carga pueda

satisfacerse económica y confiablemente; por lo tanto los componentes del sistema se encuentran sujetos a: 1. minimizar el costo total del sistema, 2. Asegurar que la carga este servida de acuerdo con ciertos criterios de confiabilidad, La función objetivo costo total debe ser minimizada, ya que ésta es generada por la suma del valor presente de todos los valores de recuperación del equipo, la operación anual y los costos de mantenimiento, las inversiones iniciales o de capital y los costos de reemplazo de los componentes del sistema, (BJagadish & Kumar Ramoji, 2014), ellos concluyen que los sistema de energía fotovoltaica y eólica son las soluciones económicas y más confiables para implementarse zonas remotas.

Unos de los aspectos relevantes en muchos países es la eficiencia energética y se correlaciona con la tecnología utilizadas, autores como (Perez oyarzo, 2008), formuló unos modelos matemáticos simplificados, en la búsqueda de la eficiencia energética con el propósito de evaluar la producción energética de un sistema eólico-e hibrido-eólico diésel.

### **Planteamiento del problema**

La energía eléctrica es un requisito primordial para el desarrollo de los pueblos, es un vector esencial en la lucha contra la pobreza en área urbanas como en las zonas rurales, por ello las energías renovables son más implementadas en poblaciones rurales o en zonas apartadas ya que generalmente son más económicas, no necesitan inversión en la red y son más limpias que la energía tradicional.

América Latina está experimentando una nueva revolución de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), está naciendo en una región que depende de la energía hidroeléctrica y combustibles fósiles, esto está sucediendo porque sus economías crecen y demandan más energía, tan solo en el 2013 se invirtieron más de 16 mil millones de dólares en energía renovables (Vázquez Zavaleta, 2016), en Latinoamérica, países como Chile, Colombia, Perú, Brasil y México entre otros han creado marcos normativos que promuevan proyectos de energías limpias, Uruguay y Costa Rica están en

economía Carbono neutra, más del 80% de su energía es renovable incluyendo energía hidroeléctrica, así mismo, del 2008 a 2012 Nicaragua tuvo el mayor crecimiento anual de energía renovable diferente a la hidroeléctrica en la región.

En Colombia el Plan de Energización para las Zonas no Interconectadas (PEZNI), que en principio fue liderada por el Instituto de Planeación y Promoción y Soluciones Energéticas (IPSE) y que más tarde se articuló con la UPME y MME, para solicitar apoyo técnico y ampliación de cobertura dio como resultado una metodología para que dentro de 10 años alcance un servicio de energía eléctrica mediante el esquema sostenible. (USAID, 2017). Son pocos los proyectos de Poligeneración que involucre la energía fotovoltaica, eólica y diésel en las áreas rurales de Colombia, lo que hay un vacío de implementación en este tipo de proyectos.

También hay que mirar los casos de poblaciones que tienen electrificación rural pero no tienen cobertura para las zonas más vulnerables, tal es el caso del corregimiento de Cañaveral del Municipio de Turbaco (ubicado en las coordenadas Latitud  $10^{\circ}23'4.42''$  N y Longitud  $-75^{\circ}19'58.05''$  O), que cuentan con el suministro de energía eléctrica deficiente, pero veredas como el sector los Olivos no cuentan con este servicio con todos los requerimientos exigidos por la normativa colombiana. Este sector es una zona vulnerable y desfavorecida, cuenta con 35 viviendas que se conectan al servicio de energía sin contar los requerimientos técnicos para disminuir los riesgos por fallas eléctricas. La falta de una energía eléctrica estable y confiable genera inconformismo en la comunidad, no puede tener procesos productivos como el agropecuario ni mucho menos el mercantil, también tienen problemas de salud pública ya que los centros de salud no operan por la falta de un fluido eléctrico eficiente, la población joven sobre viven a través del mototaxismo, servicio que prestan en los centros urbanos vecinos. La carencia de programas de emprendimiento en esa zona aún más el problema.



De lo anterior se plantea la necesidad de diseñar un proyecto sostenible de Poligeneración con fuentes renovables que pueda dar calidad de vida y prestar el servicio de energía eléctrica eficiente, estable y confiable al corregimiento de Cañaveral sector los Olivos, por lo cual se hace el siguiente cuestionamiento:

¿Cómo puede un sistema de poligeneración tener viabilidad técnica, económica y ambiental para brindar sostenibilidad energética del corregimiento de cañaveral sector los olivos del municipio de Turbaco Bolívar?

### **Justificación**

Colombia es un país que ha firmado acuerdos y tratados internacionales con lo concerniente con el cambio climático y su mitigación como en Kioto, acuerdos de Paris (COP 21) y últimamente en el COP 24 en Polonia, con ello se ve obligada a ser transformar su política para cumplir con los acuerdos y, a través de la ley 1844 de 2017, y la ley de cambio climático 1931 de 2018, Colombia se enfoca en presentar las características biofísicas, sociales y económicas, pero a pesar de su esfuerzo no puede desconocer que es un país en vía de desarrollo, por lo que no puede garantizar todos los servicios públicos a sus ciudadanos de allí que más de 460.000 hogares carecen de energía eléctrica, (MinMinas, Decreto 1623 de 2015, 2015), de los cuales el 70% se encuentra en las zonas no interconectadas; por lo que la Nación debe garantizar una transición hacia nuevas tecnologías basadas en el uso de las fuentes de energías no convencionales.

De conformidad de la ley 142 de 1994 dispone que “la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y sus actividades complementarias constituyen servicios públicos esenciales, por lo que el Estado intervendrá en los mismo, a fin de garantizar el bien, la disposición final y la calidad de vida de los usuarios”.

En el corregimiento de Cañaveral del Municipio de Turbaco (Bolívar), concretamente en el sector de los Olivos, que es una comunidad vulnerable, no cuenta con un servicio

fundamental como es el de la energía eléctrica, sus habitantes se valen a través conexiones ilegales y técnicamente no aptas, lo que conllevaría a un peligro inminente.

La empresa de servicios de electrificación no le da el suministro a pesar de muchas peticiones de los habitantes; en Colombia la Constitución contempla que la prestación de los servicios públicos está en cabeza del Estado pero no divulga que los servicios públicos al servicio de la población vulnerable sea un derecho fundamental para las personas en especial protección de vulnerabilidad, este derecho la Corte Constitucional lo ha contemplado en diferentes casos para este tipo de personas, pero se requiere que este derecho sea contemplado como fundamental en la constitución, para que el Estado implemente y aplique los mecanismos que aseguren a esta población su efectivo goce. (Prieto Hernandez, 2014).

En la Constitución Política de Colombia en el Título 12 Capítulo 5 el Artículo 365 reza: *“los servicios Públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional. Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídicos que fije la ley, podrán ser prestado por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o particulares. En todo caso el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios. Si por razones de soberanía o de interés social, el Estado, mediante ley aprobada por la mayoría de los miembros de una y otra cámara, por iniciativa del Gobierno decide reservarse determinadas actividades estratégicas o servicios públicos, deberá indemnizar previa y plenamente las personas que, en virtud de dicha ley, queden privadas del ejercicio de una actividad lícita.”* (Corte Constitucional, 2016).

En la ley 1715 de 2014 en el Capítulo 1 Artículo 1 el objeto de esta ley promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente de aquellas de carácter renovables en el sistema eléctrico nacional mediante su integración al

mercado eléctrico y sobre todo su participación en las zonas no interconectadas. (MADS, Ley 1715 de 2014, 2014)

De lo anterior se establece que en el sector de los Olivos del corregimiento de Cañaveral se puede implementar un sistema de Poligeneración para la generación de energía eléctrica valiéndose de las fuentes renovables que la zona abastece, por lo que surge el proyecto titulado “Evaluación de un sistema de poligeneración para la sostenibilidad energética en el corregimiento de cañaveral Bolívar.”

### **Objetivo**

#### **Objetivo general.**

Evaluar un sistema de Poligeneración para la sostenibilidad energética en el corregimiento de cañaveral sector los Olivos del Municipio de Turbaco Bolívar.

#### **Objetivos específicos.**

Describir los conceptos de la Poligeneración, los balances técnicos, económicos y ambientales.

Caracterizar la demanda energética en la zona de influencia y el potencial de recursos energéticos disponibles en la zona de estudio mediante una de bases de datos.

Analizar la viabilidad técnico económico del sistema de poligeneración a través de modelamiento con software especializado.

### **Normatividad y Reglamento**

En Colombia existen de leyes y reglamentos y estatutos que regulan la administración en el tema energético; con la finalidad de proteger el bienestar de las personas de esta nación. El ministerio creó una Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), quien organiza y ejecuta el Plan Energético Nacional, que busca y se enfoca en buscar y estudiar varios tipos de abastecimiento de energía que permitirán satisfacer la demanda que se presenta en el

sector, mediante la apertura de mercados energéticos y promoviendo esquemas de tipo privado o mixto, reduciendo la participación gubernamental directa, el Estado se encarga de los aspectos de regulación y planificación, y de adoptar sistemas de precios que reflejen la realidad del mercado internacional, incluyendo el desmonte de subsidios y una indexación a los precios del mercado y la diversificación de la oferta energética a través de planes como el uso de fuentes no convencionales. (UPME, Plan Energetico Nacional Contexto y Estrategias 2006-2025, 2007)

### **Ley 1715 del 2014**

Se creó esta Ley con el fin de incorporar la utilización de energías renovables dentro del sistema energético y realizar la regulación de dichas implementaciones, su objetivo principal es la de promover el desarrollo y la utilización de energías no convencionales, para la complementación del mix energético colombiano. La Ley es enfocada principalmente en la promoción e implementación de las energías renovables sobre todo para las zonas no interconectadas convirtiéndose en un medio de desarrollo económico sostenible.

La ley tiene como base establecer marcos de acción para que los compromisos y planes que tiene el gobierno colombiano con respecto a la implementación de energías de carácter renovable sean cumplidos en los términos establecidos, además busca la gestión eficiente como los adquiridos ante la Agenda Internacional de Energía Renovables (IRENA), mediante la Ley 1665 de 2013. (Secretaria del Senado de Colombia, 2019).

### **Resolución CREG 030 de 2018**

Mediante esta resolución se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al sistema interconectado nacional (SIN). Esta resolución aplica a los autogeneradores a pequeña escala (AGPE) y a generadores distribuido (GD) conectados al Sistema de Interconexión Nacional (SIN), a los

comercializadores que lo atienden, operadores de red y transmisores nacionales. (Minenergía, 2018)

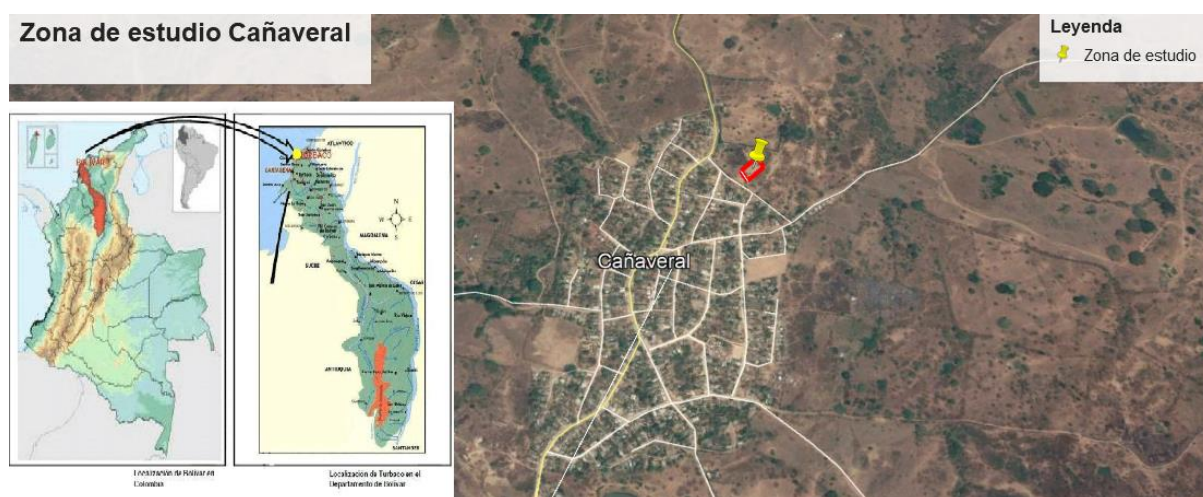
### **Resolución 1283 de agosto 2016**

La presente resolución tiene por objeto establecer el procedimiento y los requisitos para la expedición de la certificación del beneficio ambiental por nueva inversiones de proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y gestión eficiente de la energía, con la cual se podrá acceder a los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13, y 14 de la Ley 1715 de 2014. (MADS, 2016).

## **Capítulo II**

### **Zona de estudio**

La ubicación para evaluar el potencial de energía renovable del sistema de poligeneración, fue en el sector los Olivos Corregimiento de Cañaveral del Municipio de Turbaco Bolívar, con coordenadas Latitud  $10^{\circ}23'4.42''$  N y Longitud  $-75^{\circ}19'58.05''$  O, elevación 70 msnm, su principal actividad es la agricultura, ver Figura 1.



*Figura 1 Zona del proyecto Sector los Olivos Cañaveral Turbaco Bolívar*

*Fuente: 1 Google Earth (Modificado) 2019*

## **Descripción de los conceptos de poligeneración, los balances técnicos económicos y ambientales**

### **Poligeneración**

Se entiende “como la producción conjunta de dos o más servicios energéticos y/o productos manufacturados, realizada de forma simultánea y buscando aprovechar al máximo el potencial termodinámico de los recursos consumidos” (Serra, Ramos, Lozano, & Ensinas, 2007). El sistema de Poligeneración constará de una estación: solar fotovoltaica, un aerogenerador de mediana potencia, y un sistema de generación a partir del diésel como respaldo del sistema.

### **Concepto de balance técnico económico**

Se refiere a la forma en que puede hacerse un análisis económico de la instalación del sistema de poligeneración de la forma más real realizando cálculos y previsiones económicas, (Pissiotti & Gary, 2017) por lo que es necesario tener en cuenta dos variables muy incidente en un proyecto, como es la inflación y la tasa de interés que permiten calcular los costos de la instalación y de O&M de la vida útil del proyecto, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero, los riesgos y la incertidumbre de los flujos de caja.

En todo análisis económico financiero de un proyecto de inversión se utilizan términos e indicadores financieros, como el costo de Oportunidad de Capital (WACC), Costo de Oportunidad de Capital (COK), el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), Retorno de la inversión (ROI). A continuación, se define brevemente el concepto de cada uno de ellos.

**Costo de oportunidad de Capital (COK):** Conocido como tasa de descuento, es el rendimiento esperado de la mejor alternativa de inversión con un riesgo similar al del proyecto en ejecución Para el caso de una empresa la evaluación del COK está en función de

los rendimientos del mercado que tiene la empresa y el valor generado para el propietario o los accionistas. En el caso que el inversionista sea una persona sea natural, la mejor inversión que se puede realizar es con un riesgo mínimo, es la inversión en una entidad bancaria con una determinada tasa de interés.

**Promedio Ponderado de Capital (WACC):** es una tasa de descuento que mide el costo de capital, entendido como una media ponderada entre la proporción de recursos propios y la proporción de recursos ajenos. Los recursos de terceros pueden estar conformados por cualquier tipo de deuda, ya sea emitida en forma de obligaciones o mediante préstamos adquiridos.

El financiamiento de un proyecto utilizando recursos de terceros, generalmente se reserva para proyectos de alta inversión inicial de capital, donde la tasa de interés es más baja que el COK, o donde la rentabilidad interna del proyecto y margen de ganancias son muy elevados.

**Valor Actual Neto:** es el valor actual de la inversión y los flujos netos, es decir, los flujos en los cuales cada periodo ya se efectuó el cálculo de ingresos menos los egresos del proyecto. La tasa de descuento que se utiliza es el COK, esta tasa se puede considerar como un costo adicional del proyecto, que castiga los beneficios futuros (ya que los disminuye) a que estos hoy no son efectivos

**Tasa Interna de Rentabilidad (TIR):** es una tasa porcentual que indica la rentabilidad promedio periódica que generan los fondos que permanecen invertidos en el proyecto. Desde el punto de vista matemático, la TIR es aquella tasa de interés que hace igual a cero el VAN de flujos de fondos.

**Retorno de la Inversión (ROI):** es un indicador financiero que permite determinar el periodo de tiempo en el cual la inversión realizada puede ser recuperada, para su cálculo se

utiliza el valor de flujo de fondos netos del proyecto, actualizados con la tasa de descuento COK.

**Costo Anual de Operación y Mantenimiento:** hay fuentes bibliográficas que proporcionan información acerca de los costos anuales de O & M. Según la National Renewable Energy Laboratory (NREL), los costos anuales de operación y mantenimiento de plantas solares y eólicas oscilan entre los valores que se muestran a continuación en la tabla 1.

Tabla 1

*Costo anual de O&M de instalaciones solares y eólicas*

Tipo de instalación	Costo anual O&M (\$/kW)	Desviación Estándar del costo anual de O&M (+/-\$/kW)
Solar PV <10 kW	22	20
Solar PV 10 – 100 kW	19	18
Solar PV 100 - 1000 kW	18	14
Solar PV 1 – 10 MW	16	10
Eólica < 10 kW	40	35
Eólica 10 -100 kW	35	11
Eólica 100 – 1000 kW	32	10
Eólica 1 – 10 MW	33	15

*Fuente: National Renewable Energy Laboratory NREL 2016*

Algunas tecnologías no son económicamente viables a gran escala porque están en una etapa temprana de desarrollo, y no se tiene mucha experiencia operativa; pero los indicadores financieros son de gran importancia ya que les da seguridad a los inversionistas y a los gobiernos de la viabilidad de la implementación de nuevas tecnologías. (Buendia Yanez, 2014).



### **Balance Ambiental**

Se refiere a la evaluación ambiental en este tipo de proyecto, y comienza con el término de: línea base, la cual nos permite realizar la descripción de la situación actual de la zona de estudio, y se determina la fecha de éste sin alteraciones e intervenciones antrópicas, (Pascualino , Cabrera , & Chamorro Vanegas, 2015).

Actualmente en Colombia para presentar un estudio ambiental se rige por la resolución 1402 de 25 de Julio de 2018, la cual adopta una Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y otras determinaciones. La evaluación de impacto ambiental es una herramienta muy útil, para tomar decisiones que contribuyan a fortalecer los compromisos de la sociedad con el desarrollo sostenible, administrando los recursos eficazmente y creando economía verde, más respetuosa con el medio ambiente.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) a través de La autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), señala los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impactos Ambientales (EIA) en proyectos de uso de energía solar fotovoltaica, que requiere de licencia ambiental de acuerdo con el artículo 2.2.2.3.2.2 del Decreto 1076 de 2015, estos términos deben ser adoptados a las particularidades del proyecto, así como a las características ambientales y regionales y locales donde se pretenda desarrollar.

A nivel mundial en Europa y Norte América, utilizan métodos para el aprovechamiento y generación de energías alternativas para contribuir en aminorar las emisiones de gases de efectos invernaderos como el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, que es el principal gas que contribuye acelerar el calentamiento global. Estos tipos de energías actúan como acciones de mitigación y aprovechadoras sostenibles por la utilización de las radiaciones solares y la potencia del viento para la transformación de energía eléctrica.

### **Caracterización de la demanda en la zona de influencia**

Es necesario tener una base de datos pormenorizados y precisos de la radiación solar, ya sea cuando se diseña, evalúa o se hacen análisis económicos de los sistemas que utilizan la energía del sol.

La complejidad de calcular la energía con precisión es un problema por su propia naturaleza por ser la radiación solar y la temperatura funciones de tiempo, y sus ecuaciones matemáticas no son tan simples o sencillas, ya que hay que trabajar a escalas horarias de tiempo, lo que impide realizar estimaciones concretas y reales; sólo se acude a simples multiplicaciones de ecuaciones que se alejan de obtener datos concisos.

Las bases de datos de la irradiancia y velocidad del viento fueron tomadas de la <https://power.larc.nasa.gov>, éstos son de suficiente precisión y se recopilaron con periodos de 30 a 38 años lo cual es más confiable para sus análisis estadísticos, dado que los cálculos energéticos y los económicos dependerán esencialmente de los valores obtenidos.

En las bases de plan nacional de desarrollo 2014-2018 el servicio de energía eléctrica en las zonas no interconectadas el gobierno priorizo conservar la cobertura mediante la prestación del servicio las 24 horas del día en las cabeceras municipales y localidades de mayor tamaño e impulsar la generación con fuentes no convencionales de energía y sistemas híbridos, así como las estrategias de eficiencias energéticas (SSPD, 2017).

Para la demanda energética se diseñó una encuesta que se aplicó a un grupo piloto de 6 casas para captar la información acerca de las horas en que utilizan los electrodomésticos y su porcentaje de uso, con el fin de determinar la percepción en cuanto a facilidad de respuesta, se hizo unos ajustes a la encuesta y se aplicó a las 35 viviendas (Ver archivo adjunto No 1 en Word.).

La demanda de energía eléctrica se caracteriza mediante una curva de potencia en un lapso de 24 horas. Para el caso de estudio el consumo máximo para una vivienda es de

5641.20 W, con demanda de las 00:00 a 5:00 am de 1441.20 W, de 6:00 am a 2:0 pm de 1892.40 W, entre las 3:00 pm a 6:00 pm de 720 W y las 7:00 pm a 11:00 pm de 1587.60 W.

En la figura 2 se observa el comportamiento de la demanda.

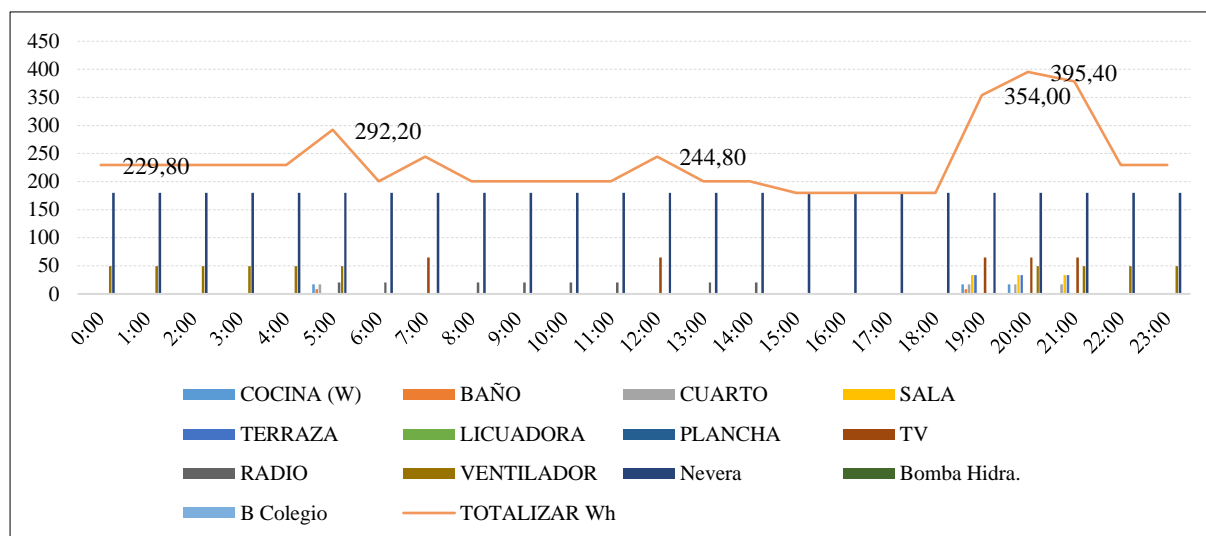


Figura 2 Perfil de demanda energética del sector los olivos

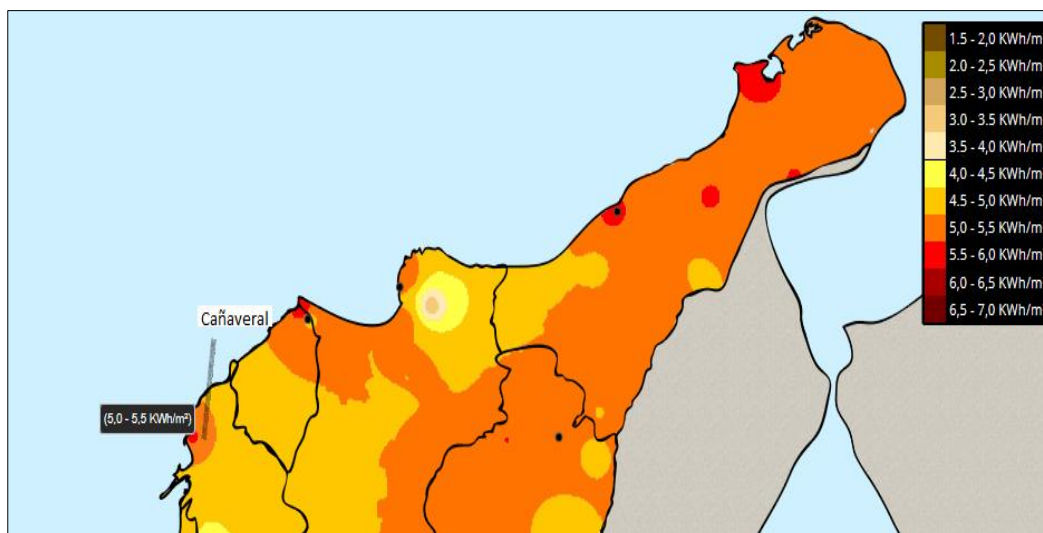
Fuente: Autor 2019

Un consumo promedio de una casa en el sector los Olivos del corregimiento de cañaveral de 88 m<sup>2</sup> para una familia, que comprenda; una habitación, un baño, Sala, Cocina, Iluminación interior y exterior, con un promedio de uso normal durante el día de 6 am, a 6 pm y, un promedio nocturno de 11 horas de 6 pm a 5 am es de: 5.64 KWh/día. Para el conjunto de las 35 casas el consumo estaría en 197 kWh/día a este resultado se le suma un 30% de respaldo por ser un sistema no conectado a la red, dando un total de 256.67 kWh/día (Ver archivo adjunto No 2 en Excel).

### Condiciones solares y eólicos de la zona

Para tener conocimiento del comportamiento solar y las condiciones de radiación de la zona de estudio, se accedió a los datos del Atlas de radiación solar del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el área del Caribe, pero éstos no

suministraron con suficiente claridad el comportamiento para realizar un análisis estadístico; por lo que se utilizó la base de datos de la NASA (NASA POWER Prediction of Worldwide Energy Resources, 2007) desde el año 1989 hasta mayo 2019.



*Figura 3 Atlas Solar IDEAM*

### **Radiación solar en el Corregimiento de Cañaveral**

Como puede observarse en la figura 3, después de haberse realizado un filtrado por cada mes de cada año de los 44 042 datos en un periodo de 30 años (1989-2019), se obtuvo una radiación promedio de 5,64 kW-h/m²/(día).

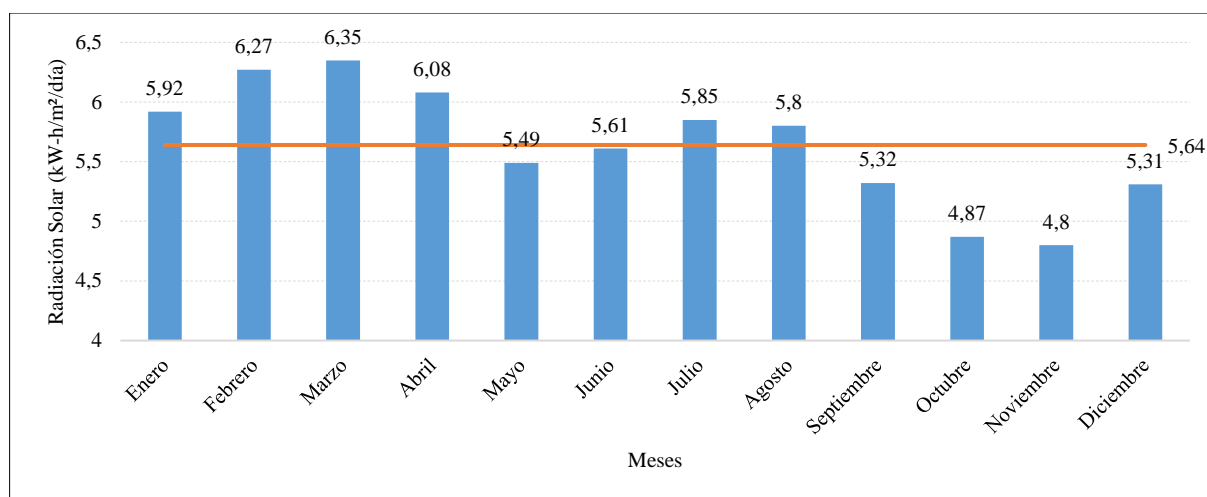


Figura 4 Promedio de radiación mensual zona de estudio con datos de la NASA.

Fuente: (NASA POWER Prediction of Worldwide Energy Resources, 2007)

El recurso eólico se constituyen en estos tiempos como el recurso más limpio que los originados en las fuentes fósiles, Colombia por su posición en la franja tropical, con gran variabilidad en las estructuras físicas de sus cordilleras y frente al mar Caribe y el océano Pacífico adquiere una posición privilegiada en recursos como el viento. (UPME & IDEAM, Tiempo y Clima-Viento energía eólica, 2001)

Como puede verse en la tabla 2 el promedio de los 69 758 datos obtenidos de la NASA es de 5.51 m/s. después de haberse realizado un filtrado por cada mes de cada año en un periodo de 38 años (1981-2019).

Tabla 2

Promedio del periodo 1981 al 2019 de la velocidad del viento, corregimiento de Cañaveral

En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
6,58	7,2	7,37	6,41	4,9	4,65	4,9	4,73	4,46	4,45	4,8	5,7	5,51

Fuente: (NASA POWER Prediction of Worldwide Energy Resources, 2007)

### Descripción general del generador fotovoltaico

La radiación electromagnética de la energía solar puede convertirse en electricidad a través del efecto fotovoltaico. La celda solar se compone de una unión n-p fabricada de una

capa delgada de un semiconductor; al exponerse a la luz solar los fotones con la energía suficiente como para romper la banda ancha de energía del semiconductor es absorbido y se crean huecos de manera proporcional a la radiación incidente” (Corral Ponce, Villalba Garcia, Caberta Neco, & Valenzuela, 2014).

Las características de corriente-voltaje del módulo solar dependiendo de la radiación solar se muestran en la Figura 5, en éste, se determina en cada paso de la simulación el paso de Máximo Punto de Potencia (MPPT por su sigla en inglés), ver ecuación 1 donde  $I_{mp}$  es la corriente en el máximo punto de la potencia,  $V_{mp}$  el voltaje en ese punto y  $P_{mp}$  la potencia máxima entregada por el panel ver ecuación 1

$$P_{mp} = V_{mp} * I_{mp} \quad (1)$$

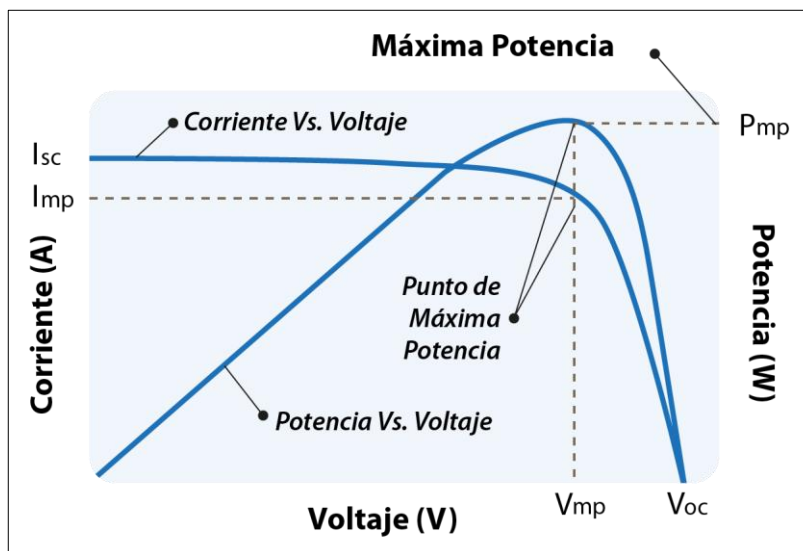


Figura 5 Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V

Fuente: UPB Investigación y desarrollo 2014

El área debajo de la curva de la Figura 5, en el punto de máxima potencia se denomina factor de relleno (FF). Este valor dice que tan eficiente es el panel solar, si los valores de este factor se aproximan a  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$  su eficiencia es mayor que cuando se alejan.

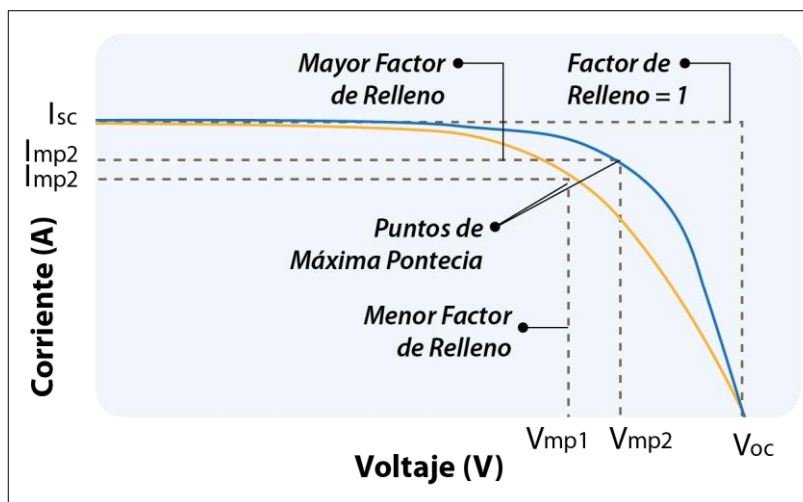


Figura 6 Factores de relleno a diferentes niveles de potencia

Fuente: UPB Investigación y desarrollo 2014

La corriente de corto circuito cambia dependiendo de la radiación solar y el área de las celdas; el voltaje de circuito abierto está determinado de acuerdo con las propiedades del material semiconductor, la iluminación y la temperatura; si aumenta la temperatura en la celda el valor del voltaje de circuito abierto disminuye (Vargas & Abrahamse, 2014).

La tensión y corriente generada en una cedula dependen directamente de la iluminación recibida. La corriente de corto circuito de la cedula es directamente proporcional a la irradiancia como se muestra en la Figura 6, disminuyendo a medida que se reduce la irradiancia, la tensión de circuito abierto varia poco con la irradiancia, aunque también decrece, para efectos prácticos puede considerarse constante.

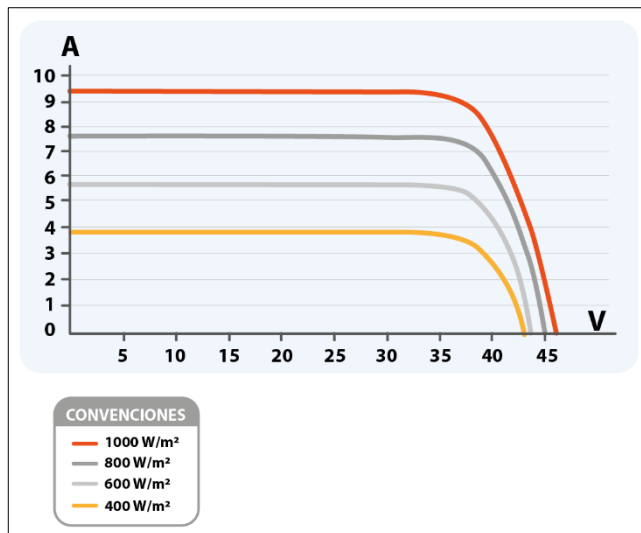


Figura 7 Curva I-V Radiación solar

Fuente: [albasolar.es/2018/12/Canadian-330-335](http://albasolar.es/2018/12/Canadian-330-335)

La temperatura afecta de manera considerable la tensión tal como se aprecia en la Figura 8, la tensión de circuito abierto disminuye cuando aumenta la temperatura, sin embargo, la intensidad de corto circuito aumenta cuando aumenta la temperatura, aunque la variación es muy pequeña para efectos prácticos se puede considerar constante.

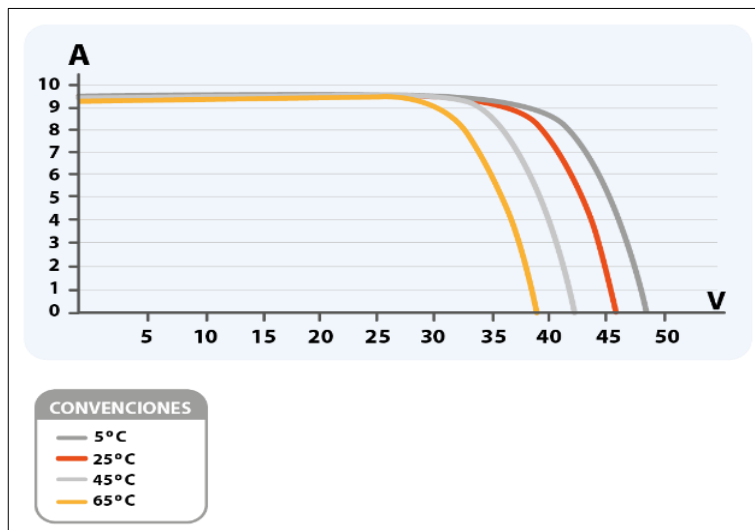


Figura 8 Curva I-V -temperatura

Fuente: [albasolar.es/2018/12/Canadian-330-335](http://albasolar.es/2018/12/Canadian-330-335)



La configuración de los paneles para producir la electricidad se debe entender que internamente están conformados por celdas fotovoltaicas y que dependiendo del tipo de asociación interna que tiene el panel así será la potencia específica de éste, esta configuración se materializa de acuerdo si es en serie o paralelo que las celdas están asociadas. (Garcia Pulgarin, 2014)

### Características de los componentes.

Generador fotovoltaico.

Las celdas fotovoltaicas son paneles solares de 330 W, 24 voltios y 72 células

Tabla 3

*Características del panel solar*

Característica	Valor
Potencia	330 W
Voltaje en circuito abierto (Voc)	46.80 V
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp)	38.77 V
Corriente de corto circuito (Isc)	9.46 A
Corriente nominal (Imp.)	8.82 A
Sistema de voltaje máximo	1000 VDC
Tipo de célula	Policristalino
Dimensiones	195 x 99.2 x 4 cm

Fuente: [https://www.damiasolar.com/productos/placas\\_solares/panel-solar-ecosolar-](https://www.damiasolar.com/productos/placas_solares/panel-solar-ecosolar-)

Las dimensiones de este panel nos indica que ocupan 1.94 m<sup>2</sup>.

### Inversores.

Son la parte importante y compleja de la instalación porque tiene que sincronizarse con los valores de tensión y de frecuencia con la red de distribución eléctrica y no puede funcionar en modo isla, la preferencia es que la potencia de entrada sea variable para que pueda extraer la potencia al máximo, y su funcionamiento sea continuo con una irradiancia superior al 10% a la potencia del panel o del campo solar (CEM) con soporte de picos de un 30%. (Casa & Barrios, 2017). En la tabla 4 se detalla el inversor utilizado en la simulación,

Tabla 4

*Características técnicas Leonics MTP 413 F*

Potencia AC	25 kW
Tensión nominal a red.	230-380- 415 V
Rango de frecuencia	49,95 -60,06 Hz
Frecuencia	50 -60 Hz
Distorsión (THD)	<4%
Número de fases de inyección	3
Eficiencia máxima	94%
Dimensiones	1880 x 600 x 1050 mm
Peso	380 kg
Transformador	si
Enfriamiento	Ventilador
Humedad	0 -95%
Visualización	LCD

*Fuente: Enfosolar .com.*

### **Temperatura del panel**

La temperatura de operación de un panel fotovoltaico incide muchos factores, principalmente la radiación solar, la temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, el material empleado en las celdas, así como el de la estructura. (Skoplaski, Boudouvis, & Palyvos, 2008).

La temperatura de la célula fotovoltaica es la temperatura de la superficie de la matriz fotovoltaica, durante la noche, es igual a la temperatura ambiente, pero a pleno sol, la temperatura de la celda puede superar a la temperatura ambiente en 30 °C o más, al realizar la simulación del sistema, Homer Pro calcula la temperatura de la célula fotovoltaica mediante un balance de energía utilizando la ecuación de Duffie y Beckman 1991, (Energy, 2019). En la modelación se activará el efecto de la temperatura en la matriz fotovoltaica, ya que los fabricantes de los módulos solares clasifican la potencia de salida en condiciones de prueba estándar, lo que significa una radiación de 1 kW/m<sup>2</sup>, a una temperatura de celda de 25 °C y ningún viento. Las condiciones de prueba estándar no reflejan las condiciones de operación típicas, ya que las temperaturas de las células a pleno sol tienden a ser mucho más altas.

### Descripción general del generador eólico.

Un paso importante para dimensionar el generador eólico es la escogencia del sitio, la dirección del viento y la clasificación de éste. La asociación americana de energía eólica (AWEA), ha clasificado los sitios en siete niveles (7) de potencial eólico, en el nivel cuatro (4) hacia arriba son viables para proyectos de gran envergadura, sin embargo, la topografía del sitio juega un papel importante, así como la parte ambiental para la decisión de la viabilidad.

El proceso de transformación de energía eólica en energía eléctrica mediante un aerogenerador se ve en la figura 9.

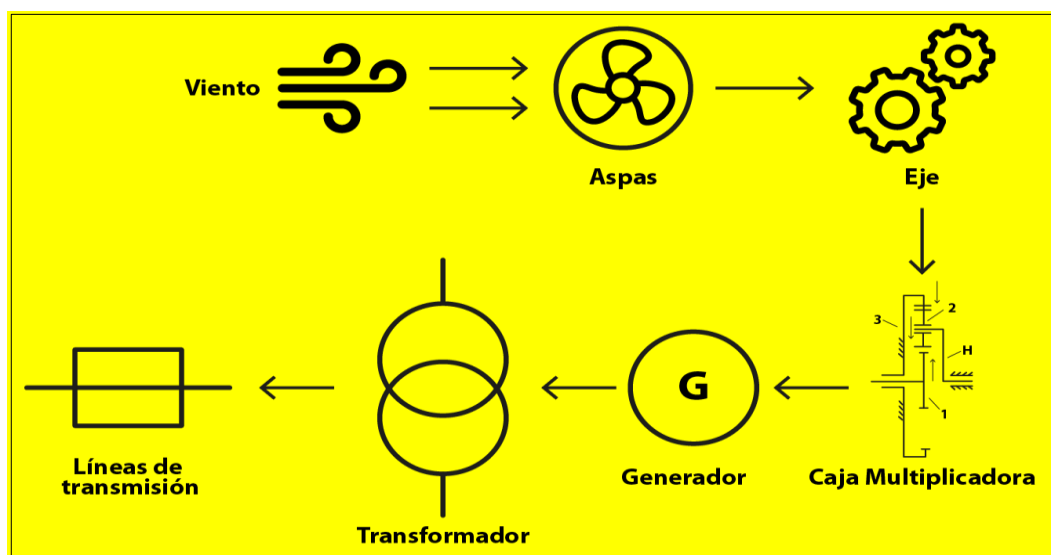


Figura 9. Proceso de transformación de energía eólica en energía eléctrica en un aerogenerador

Fuente: Fuentes de energía Renovables (Alfaomega 2014) Modificado

El viento pasa sobre la superficie de las aspas ejerciendo una fuerza de sustentación sobre ellas que hace girar el rotor compuesto por tres aspas. Este movimiento de rotación es transferido al eje principal y en la mayoría de los aerogeneradores es ampliado mediante una caja multiplicadora que aumenta la velocidad de rotación desde un valor de 20-30 revoluciones por minutos (rpm) hasta un 1500 rpm, con las que se produce la electricidad. Esta velocidad debe ser alta y constante para que la energía eléctrica generada tenga una

frecuencia de 50 o 60 Hz dependiendo de la red eléctrica del país. La energía eléctrica producida por el generador pasa a través del transformador, que eleva la tensión desde el nivel de generación hasta el de la tensión de la red eléctrica a la que se conecta. (Vega de Kuyper & Morales Ramirez, 2014).

El principal problema que se relaciona con la energía eólica son las fluctuaciones de tensión en los terminales de un generador de turbinas eólicas, tales como los fenómenos aerodinámicos entre ellos las turbulencias y la sombra de las torres; pueden causar fluctuaciones de voltaje en la red claro esta si hay variaciones de corriente grandes durante la conexión y desconexión de las turbinas eólicas. (Mercado & Suvire, 2010). (Islam, Lallu, Mamun, Prakash, & Rattan, 2018),

### **Características generales y escogencia del aerogenerador**

Se consideró realizar un análisis de la capacidad de generación de energía eléctrica de (kWh/mes), de 13 tipos de marcas de generadores que se encuentran en el mercado a una velocidad del viento de 4.69 m/s. Véase tabla 5 y 6.

Tabla 5

*Generación según tipo de aerogenerador*

<b>Tipo</b>	<b>kWh/mes (30 m)</b>	<b>kWh/mes (50 m)</b>
African Wind Power 3.7	337.68	458.79
CF11 Green Energy 11kW	4,265.32	5,795.10
Bergey Excel 10 R 10 kW	1,207.09	1,640.02
KWE 2.5kW	375.17	509.73
Endurance 31-20 50 kW	9,092.90	12,354.12
Pika T701 1.5kW	221.99	301.61
Air Brezee 38 kWh/mes	33.77	454.88
Windspot 7.5kW	979	1,330.12
Jacobs wind Energy 31-20	2,226.11	3,024.52
Einar 70 70kWh/día	414.11	562.63
Wes 80	7893.16	10,724.08
Enair	981.13	1,333.02
AWS HC 3.3 kW	1863.68	2532.1

*Fuente: Autor 2019*

Se escogió el aerogenerador Bergey 10 R 10 kW, con un peso de 460 Kg, área de barrido 38.48 m<sup>2</sup> y con diámetro del rotor 7 metros. El modelo es capaz de generar anualmente hasta 13,564 kWh/día a un promedio 5 m/s. Los cálculos realizados en la herramienta de Excel con alturas de 10, 30,50 m y con velocidad de 5 m/s generaron: 25.2 kWh/día, 48.75 kWh/día y 66.24 kWh/día, respectivamente.

### Características técnicas y eléctricas

Tabla 6

*Especificaciones técnicas Bergey Excel 10 R 10 kW*

Característica	Comentario
Número de hélices	3
Rango de temperatura	-40 a +60 °C (-40 a +140 °F)
Generador	Alternador de tres fases (velocidad variable)
Potencia nominal de salida	8.9 kW
Nivel de sonido nominal	42.9 dBA
Voltaje	24/48/LV/60-140 HV
Energía anual nominal	13.800 kWh
Diámetro	7 m
Sentido de giro	Horario
Área barrida	38.48 m <sup>2</sup>
Peso	460 kg
Viento para arrancar	2.2 m/s
Velocidad del viento de corte	2.2 m/s
Caja de cambios	Ninguna
Protección contra velocidad	AUTOFURL
Frecuencia	Variable (240 VAC, 60 Hz o 220 VAC, 10,50 Hz)

*Fuente: Bergey. Com.*

### Características del generador diésel dimensionamiento

Para generar 256.67 kWh de la demanda de las 35 viviendas se necesita un generador de 285 kVA, pero solo se necesita que su generación sea el 5%, o sea 14.5 kVA por lo que escoge un generador diésel de 25 kW con las mejores características técnicas. Ver tabla 6

Tabla 7

*Generador 25 kW Genset*

Característica	Comentario
Combustible	Diésel
Motor	4 cilindros en línea
Amperaje de salida (110/220 V 10, 1  pf)	87 A
Recubrimiento acústico Nivel 1	Acero/ Aluminio
Bomba de inyección de combustible	Bomba de inyección de distribución
Capacidad utilizable	204 L/hr
Pendiente de la curva de combustible	0.327 L/hr/kW
Caballos de fuerza kW nominales	49 hp
Velocidad nominal del motor RPM	1800
Dimensiones (mm)	1.930 x 950 x 1.4680
Peso (kg)	718
Flujo de escape salida nominal	7.5 m <sup>3</sup> /min
Temperatura de escape nominal	365,5 °C
Requerimiento de aire de combustión	2.49 m <sup>3</sup> /min
Contrapresión máxima del radiador	0,12 kPa
Temperatura ambiente de máxima operación	50 °C
Porcentaje de carga del diésel	25%
Estambay del diésel	3.2 L/h

*Fuente: [www. Generac. Com/all products/generators/home-backup-generators/protector series/15 kW](http://www.Generac.Com/all_products/generators/home-backup-generators/protector_series/15_kW)*

### Metodología del cálculo del sistema fotovoltaico

Para calcular la cantidad de paneles que el sistema fotovoltaico requiere para la generación de energía eléctrica, se utilizó la siguiente metodología:

Estimación del consumo de la vivienda

1. Rendimiento energético
2. Radiación solar de la zona
3. Energía necesaria
4. Radiación plano horizontal
5. Cálculo del generador solar
6. Cálculo del inversor para el sistema fotovoltaico
7. Cálculo del acumulador

### Estimación del consumo

Se calcula con la ecuación:

$$\text{Wattios de la carga}(w) = \text{Cantidad de carga} * \text{Intensidad} * \text{Tension} \quad (2)$$

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Wattios de la carga} * \text{Ciclo Diario} \quad (3)$$

Donde la Cantidad de carga es el número de elementos electrodomésticos utilizados (descripción de la carga)

- Intensidad es dada en amperio (A)
- Tensión es el voltaje a que trabaja el electrodoméstico (V)
- Ciclo diario es la cantidad de uso del electrodoméstico en horas por día.

Con lo anterior se diseñó un perfil de carga general basado en una encuesta para las 35 viviendas en las 24 horas del día, desde la hora 0:0 hasta las 23:00. Con base a lo anterior se hace la sumatoria de los vatios consumido en kWh día de las 35 viviendas, con este dato se calculó la cantidad de energía eléctrica consumida en cada mes del año, escogiéndose el mes con menor radiación, mediante la fórmula:

$$\text{Factor de energia} = \frac{\text{Energia consumida en el mes} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right)}{\text{Menor radiacion} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{día}} \right)} \quad (4)$$

El sistema fotovoltaico se dimensiona para cubrir el consumo eléctrico del mes más desfavorable del año, ya en este punto se realiza un cálculo de las pérdidas de rendimiento energético, la radiación solar de acuerdo con el ángulo de salida sobre el plano inclinado con lo anterior se calcula le energía necesaria con la ecuación:

$$\text{Energia necesaria}(E) = \frac{\text{Energia del peor mes (kWh)}}{\text{Rendimiento de la instalacion(Adimensional)}} \quad (5)$$

Se calcula la potencia pico mediante la ecuación:

$$\text{Potencia pico}(Pp) = \frac{\text{Energia necesaria} \left( \frac{\text{wh}}{\text{día}} \right)}{\text{Horas solares pico}} \quad (6)$$

Con las ecuaciones anteriores se halla el número de paneles que el sistema requiere mediante la ecuación:

$$\text{Numero de paneles } (Np) = \frac{\text{Potencia pico} \left( \frac{\text{wh}}{\text{día}} \right)}{0.9 * \text{Potencia del modulo}(Wp)} \quad (7)$$

Se debe tener en cuenta que la potencia pico de un módulo fotovoltaico es la potencia que se produce en condiciones estándar que supone una radiación incidente de  $1 \text{ kW/m}^2$ . (Corral Ponce, Villalba Garcia, Caberta Ñeco, & Valenzuela, 2014).

### **Metodología de cálculo del aerogenerador**

Para realizar el estudio energético eólico del corregimiento de Cañaveral, es indispensable tener una serie de datos de velocidad de los vientos a partir de 25 a 30 años, para poder tener resultados significativos, y mediante la fórmula de límite de Betz y utilizando ley de distribución de Weibull que, con la variabilidad de la velocidad del viento, nos permite calcular el potencial energético, y la energía anual que puede producir un generador.

En (Perez oyarzo, 2008), señala que estudios realizados por Kosen en el 2004, realizó un análisis de datos de vientos medidos en Kutahya (Turquía), a una altura de 10-30 metros donde se evidencia que el modelo probabilístico de Weibull es más eficiente que el modelo de Raleigh, ya que este predice el viento de mejor manera.

(Bastien, y otros, 2017), en Modelling the variability of the wind energy resource on monthly and seasonal timescales, argumentan que, para resumir las distribuciones de viento, eligen la distribución de Weibull como la representación paramétrica y la distribución estacional de la velocidad del viento en la superficie en un lugar determinado. Esta distribución teórica es ampliamente utilizada en la industria de la energía eólica. Proporciona una forma sencilla de representar la distribución viento, ya que se basa en solo dos parámetros: parámetro de forma (la distribución de Weibull puede aparecer más asimétrica o simétrica), y el parámetro de escala (una distribución logística puede aparecer más estirada o comprimida). Debemos resaltar el hecho de que otras distribuciones teóricas captan mejor la forma de lo real.



### **Metodología de cálculo para el análisis estadístico de la velocidad del viento**

Se utiliza la herramienta de Excel para determinar la frecuencia y duración de la velocidad del viento mediante modelo probabilístico de Weibull según la ecuación 8:

$$P(V) = \frac{K}{C} \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} * e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^K} \quad (8)$$

### **Metodología para la obtención de una tabla de frecuencia y duración de la velocidad del viento**

La metodología de cálculo para la obtención de la tabla de frecuencia y duración de la velocidad del viento es de la siguiente manera: primero hay que agrupar los datos y distribuir los datos de la velocidad del viento en intervalos de clase, esto se realiza definiendo un límite superior e inferior de la clase, el centro de clase es el valor medio de los límites de velocidad.

Se determinan para cada clase, los parámetros los siguientes parámetros:

Frecuencia absoluta: se ordenan los datos de menor a mayor y se calcula la frecuencia absoluta de cada uno de ellos (números de veces que se repiten cada uno de ellos)

$f(V_i)$ : número de datos para el centro de la clase,  $V_i$  (9)

Frecuencia relativa: se calcula dependiendo de la frecuencia absoluta se define según ecuación

$$fr(V_i) = \frac{f(V_i)}{N} \quad (10)$$

Donde  $N$  es el número total de datos con elementos de la velocidad  $V_i$ .

Frecuencia acumulada: es el resultado de sumar sucesivamente las frecuencias absolutas o relativas desde el menor al mayor de sus valores

$$fA(V_i) = \sum_{i=1}^N f(V_i) \quad (11)$$

Función de la densidad de la probabilidad: se define de acuerdo con la ecuación:

$$P(V_i) = 100 * fr(V_i) \quad (12)$$

Frecuencia relativa acumulada: es ir sumando frecuencias relativas de las observaciones

$$frA(V_n) = \frac{fA(V_n)}{N} \quad (13)$$

Duración de la velocidad del viento: representa la probabilidad que la velocidad del viento,  $V$ , sea superior a cierta velocidad  $V_i$

$$S(V_i) = P(V > V_i) \quad (14)$$

En la ecuación  $fr(V_i) = P(V \leq V_i)$ , la frecuencia relativa acumulada, corresponde a la probabilidad que la velocidad del viento,  $V$ , sea menor o igual a la velocidad del centro de clase  $V_i$

### **Metodología para el cálculo del perfil vertical de la velocidad del viento**

Hay diferentes modelos y fórmulas utilizadas para la representación del perfil vertical del viento, que han sido útil para la condición de equilibrio atmosférico neutro, (Guevara Díaz, 2013).

$$\left(\frac{V_z}{V_{ref}}\right) = \left(\frac{Z}{Z_{ref}}\right)^\alpha \quad (15)$$

Donde  $V$  es la velocidad del viento (m/s) a estimar sobre una altura  $Z$  (m) sobre el nivel del suelo.

$V_{ref}$ , es la velocidad de referencia (m/s), velocidad del viento observada a una altura preestablecida

$Z_{ref}$  es la altura de referencia que puede ser 10, 30 ,50 metros, aunque puede ser otra.

El exponente de rugosidad  $\alpha$ , (wind shear exponent), varía según el tipo de suelo, de acuerdo con (Perez oyarzo, 2008), se consideran 3 alternativas para la predicción de la velocidad del viento con la altura.

Se asume una atmosfera neutra donde  $\alpha = (1/7) = 0.143$ .

La altura de rugosidad sigue al modelo según la ecuación 16

$$\alpha = 0.24 + 0.04Ln(Z_0) + 0.003[Ln(Z_0)]^2 \quad (16)$$

$Z_0$ , es la rugosidad del terreno donde se realiza las mediciones de la velocidad del viento que sería la tercera alternativa.

### **Modelo matemático para evaluar la energía eólica disponible**

La disponibilidad de la energía eólica se determina de acuerdo con la ecuación 17.

$$Ed(V) = \int_{V_p}^{V_{00}} P(V)Pd(V)Nh \, dv \quad (17)$$

La ecuación 2.10 se puede utilizar para valores discretos de velocidad como para valores discretos de velocidad:

$$Ed(V) = \sum_{V \geq V_p}^{V_{00}} P(V)Pd(V)Nh \, dv \quad (18)$$

$$Ed(V) = Nh \sum_{V \geq V_p}^{V_{00}} P(V)Pd(V) \, dv \quad (19)$$

$Ed(V)$  = Energía eólica disponible (kWh)

$P(V)$  = Probabilidad de ocurrencia de la velocidad del viento (-)

$Pd(V)$  =Potencia disponible del viento o densidad de potencia (kW)

$Nh$  = Número de horas del periodo de análisis (hr)

La densidad de potencia promedio se calcula mediante la ecuación 20

$$Pd = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (20)$$

La ecuación  $Pd = \frac{\pi}{8} \rho D^2 V^3$ , (2.1), permite calcular la potencia media disponible del viento cuando el aerogenerador es de eje horizontal donde:

$P$  = densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ),

$D$  = diámetro de la Aero turbina (m),

$V^3$  = promedio del cubo de las velocidades del viento ( $\text{m}^3/\text{s}^3$ ),

$V_{00}$  =velocidad del viento (m/s),

$V_p$  = velocidad de partida del aerogenerador.

Reemplazando la potencia disponible del viento en la ecuación (21), se tiene:

$$Ed(V) = \frac{\pi}{8} \rho D^2 N h \int_{V_p}^{V_{00}} P(V) V^3 dv \quad (22)$$

Para datos discretos de la velocidad se tiene:

$$Ed(V) = \frac{\pi}{8} \rho D^2 N h \sum_{V \geq V_p}^{V_{00}} P(V) V^3 \quad (23).$$

Estas dos últimas ecuaciones (22) y (23), representa el modelo matemático para evaluar la energía disponible de la velocidad del viento, que corresponden a la energía ideal de generación. (Perez oyarzo, 2008)

Caracterización potencial de recursos energéticos disponibles en la zona de estudio a través de bases de datos

Como la energía solar y eólica es intermitentes estos no están disponibles en todo momento (Zapata, Zuluaga , & Dyner, 2005), por tal razón estos tipo de tecnologías no pueden seguir una curva de potencia estable (Castillo Ramirez , Duque Villalva , & Verlásquez Valencia, 2014), pero el acoplamiento de estas dos tecnologías se complementan para mitigar este impase y poder posicionarse en los nuevos mercados.

El Potencial energético solar a lo largo del territorio nacional tiene un promedio de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> (Toledo Arias C. , 2013), con un brillo solar promedio anual que oscila entre 2100 - 2500 horas (IDEAM, s.f.). En cañaveral el recurso solar tiene un potencial de 5.64 kW-h/m<sup>2</sup>/día.

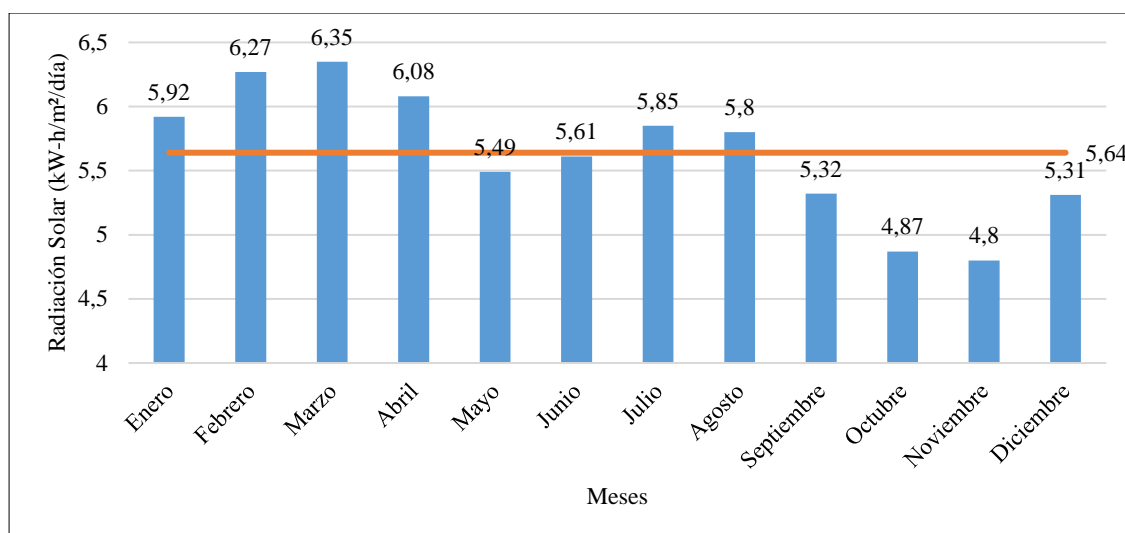


Figura 10 Radiación solar mensual y promedio anual

Fuente: Autor 2019 (datos obtenidos de la NASA).

En la figura 10 presentados de otra forma los datos de radiación solar obtenida de la NASA, muestra que la variabilidad de la radiación en los diferentes meses es significativa, se desvían de la media anual que se muestra en la línea anaranjada, esto debido a la ubicación geográfica y el impacto por la variabilidad de radiación estacionaria a lo largo de año.

Como puede observarse en el Figura 3, el mes de menor radiación solar es el mes de noviembre con 4.8 kW-h/m²/día, por lo que será el mes de referencia para realizar los cálculos del sistema fotovoltaicos.

### Potencial eólico de la zona.

A partir de la base de datos obtenida de la NASA, desde año 1981 hasta el 2019 se realiza la disponibilidad de viento en la zona, en la tabla 7 puede verse la frecuencia de los vientos y la duración de estos.

En el corregimiento de Cañaveral el promedio anual de la velocidad del viento es de 5.64 m/s, con estos datos y con otra información adicional se podrá completar el estudio, tales como la curva de potencia del aerogenerador, densidad media del aire en el lugar de estudio. La energía mensual generada por el aerogenerador depende de dos variables la potencia generada por la turbina para la velocidad del viento en el momento determinado en que se

encuentre es decir la curva de generación de aerogenerador, y la probabilidad de que se obtenga la velocidad del viento durante el año, es decir la función de probabilidad ajustada.

Tabla 8

*Estadístico de la velocidad del viento Cañaveral*

Intervalo de clase (m/s)	Centro de la clase	Frecuencia de la clase	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Duración de la velocidad	# de horas de ocurrencia	# horas en que	# horas en que	Duración de la velocidad
	$V_i$ (m/s)	$N_i$ (día)	$fr$ ( $V_i$ )= $n_i/N$	$F_i$	$S(v_i)=1-fr(v_i)$	$Nh= T*fr (V_i)$	$V \leq V_{is}$	$V > V_{is}$	
$1.68 \leq v \leq 2.98$	2,33	86	0,63%	0,006	0,994	696	696	49.272	0,986071085
$3 \leq v \leq 4$	3,50	1357	10,01%	0,106	0,900	3.816	4.512	45.456	0,909702209
$4.01 \leq v \leq 5$	4,51	4665	34,40%	0,450	0,656	20.832	25.344	24.624	0,492795389
$5.01 \leq v \leq 6$	5,51	2952	21,77%	0,668	0,782	8.088	33.432	16.536	0,330931796
$6.01 \leq v \leq 7$	6,55	2173	16,02%	0,828	0,840	7.392	40.824	9.144	0,182997118
$7.01 \leq v \leq 8$	7,51	1475	10,88%	0,937	0,891	4.104	44.928	5.040	0,100864553
$8.01 \leq v \leq 9$	8,51	686	5,06%	0,988	0,949	3.096	48.024	1.944	0,038904899
$9.01 \leq v \leq 9.99$	9,51	153	1,13%	0,999	0,989	864	48.888	1.080	0,021613833
$10.01 \leq v \leq 11.15$	10,58	14	0,10%	1,000	0,999	1.080	49.968	0	0
Total		13.561,00	100%			49.968			

*Fuente: Autor 2019*

**Validación del sistema de poligeneración con un software especializado**

La simulación en su significado general es el proceso de experimentar con un modelo una hipótesis y mediante herramientas computacionales aprender el comportamiento del sistema, y llevar al investigador a un modelo más real.

El Homer Energy es la herramienta que se tuvo en cuenta para la simulación del sistema de poligeneración, por ser capaz de simular sistemas de energía, manejar un sinnúmero de variantes de diseño, además de presentar elementos que permiten establecer criterios técnico-económico, busca la mejor optimización del sistema y muestra configuraciones del sistema optimizada por costos y proporciona análisis de sensibilidad. (Azevedo, Rodrigues, Dentinho, & Silva, 2011). (Prashant , Pukale, Kumabhar, & Patil, 2016)

HOMER simula el funcionamiento de un sistema haciendo cálculos de balance de energía en cada paso de tiempo (intervalo) del año. Para cada paso de tiempo, HOMER Pro compara la demanda eléctrica y térmica con la energía que el sistema puede suministrar en ese paso de tiempo, y calcula el flujo de energía hacia y desde cada componente del sistema.

Para los sistemas que incluyen baterías o generadores de combustible, HOMER Pro también decide en cada paso de tiempo cómo operar los generadores y si cargar o descargar las baterías.

HOMER realiza estos cálculos de balance de energía para cada configuración del sistema que desee considerar. Luego determina si una configuración es factible (es decir, si puede satisfacer la demanda eléctrica en las condiciones que especifique), y calcula el costo de instalación y operación del sistema durante la vida útil del proyecto. Los cálculos de costos del sistema dan cuenta de costos tales como capital, reemplazo, operación y mantenimiento, combustible e intereses.

Para la simulación se utiliza el HOMER PRO que tiene dos algoritmos de optimización. El algoritmo de búsqueda de cuadrícula original simula todas las configuraciones de sistema



factibles definidas por el espacio de búsqueda. El nuevo HOMER Optimizer utiliza un algoritmo patentado libre de derivados para buscar el sistema menos costoso. HOMER Pro luego muestra una lista de configuraciones, clasificadas por el costo actual neto (a veces llamado costo del ciclo de vida), que puede usar para comparar las opciones de diseño del sistema.

#### Análisis de sensibilidad

Cuando define las variables de sensibilidad como entradas, HOMER Pro repite el proceso de optimización para cada variable de sensibilidad

Dimensionar estas fuentes de energías es importante balancear la simulación, además de un buen análisis de los diferentes indicadores, y hallar la mejor solución que mejor aproveche los recursos ambientales para poder tener una alimentación estable de energía a un precio razonable en condiciones variables meteorológica

#### **Evaluación Técnica**

En este segmento se describen técnicamente los componentes que se eligieron para modelar el sistema Solar Eólico y diésel, se tuvo en cuenta las mejores precios del mercado internacional por que en Colombia no posee el desarrollo industrial en este sector de las energías renovables, por lo tanto se tiene que importar los equipos de generación y control del sistema, sin embargo la cantidad de equipo que se puede traer con precios de embarque con menor costo, depende del volumen que tenga los contenedores que son transportados por vía marítima, Para conocimiento o ilustración los hay de 33.30 m<sup>3</sup>, 67.70 m<sup>3</sup> y de 76.50 m<sup>3</sup>.

Para el arreglo fotovoltaico se utilizaron Generic flap plate PV 38.0 kW, las especificaciones técnicas están en la tabla 3, en cuanto al arreglo eólico se utilizó el Bergey Excel 10 R 10 kW cuyos datos técnicos se encuentran en la tabla 6, y el generador diésel se utilizó el Generac protector de 25 kW, véase ficha técnica tabla 7.

Para el arreglo del banco de baterías se requirió de 48 baterías Surrete 4 KS 25 P, véase ficha técnica en anexo 3. Para el sistema de apoyo es importante mencionar el inversor Leonics MTP 413 F 25 kW, encargado de transformar la corriente continua en alterna, para ser llevada a la red primaria, secundaria y transformador. Las características técnicas se encuentran descritas en la tabla 4.

### **Rentabilidad Económica y Financiera**

Cuando el sistema de energía fotovoltaico o eólicos son autónomos y generan cada uno de ellos en forma independiente, no son tan económicos como los sistemas híbridos ya que estos últimos son más confiables, (Al, Hongxing, Hui, & Xiaobo., 2003) y (Belfkira , Hajji , Nichita , & Barakat , 2007). Los principales retos que enfrenta la industria solar, eólica y otra fuente de generación sobre todo en Latinoamérica es el cierre financiero de los proyectos y de contratos de compra venta de energía, así como la disponibilidad de infraestructura de interconexión (Camargo Gómez & restrepo Aristizabal)

Para estudiar la viabilidad económica del sistema de poligeneración solar-eólico y diésel, se calculan tres indicadores económicos: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y Coste del Ciclo de Vida (CCV) (Marín-Cano & Mejía-Giraldo b, 2018) o Costo Nivelado de Energía. Según (Espinoza, Muñoz Ceron, Aguilera, & De la Casa, 2019) los indicadores VAN y TIR, pueden ocultar información sobre la viabilidad de la inversión ya que pueden surgir algunos déficit de liquidez desde el punto de vista del usuario final, y para evaluar la viabilidad de la inversión es más claro llevar un análisis basado en costo nivelado de la electricidad (LCOE) cuyo resultados pueden ser comparados con la tarifa estándar que pueda pagar un consumidor promedio; de acuerdo a (Fan & Ming , 2017), emplean el LCOE y utilizan el proxy del precio promedio que el activo de energía debe recibir, para obtener un punto de equilibrio durante la vida útil del proyecto.

La VAN permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, ocasionados u originados por una inversión. Ésta consiste en descontar al momento actual (actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto, a este valor se le resta la inversión inicial, de manera que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La VAN es muy ampliamente utilizado en la evaluación de proyectos de inversión y busca determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivos futuros que genera el proyecto y se compara esta equivalencia con el desembolso inicial, cuando la equivalencia es mayor que el desembolso inicial, es recomendable que el proyecto sea aceptado, es decir una  $VAN > 0$  quiere decir que la inversión producirá ganancias y por tanto es viable el proyecto.

La ecuación 24 representa la fórmula de la VAN (NPV en inglés), (Faria, y otros, 2016) la señalan como:  $NPV = \sum_{y=1}^y \frac{C_y}{((1+r)^y)} - C_0$  (24)

Donde  $C_y$  = Flujo de caja neta anual,  $r$  = tasa de interés %,  $C_0$  = inversión inicial,  $y$  = vida útil del sistema. El inconveniente que tiene la VAN es asumir una tasa de interés que pueda cambiar el resultado significativamente

En cuanto a la TIR, es utilizada para tomar la decisión de aceptar o rechazar el proyecto de inversión, se realiza una comparación de una tasa mínima o tasa de corte con una tasa de descuento o coste de oportunidad de inversión, si la tasa del proyecto expresada por la TIR supera la tasa de corte, se acepta la inversión, la TIR es la tasa por el cual se recupera la inversión inicial.

La TIR puede anular la validez de la VAN (VPN) (Campoccia, Dusonchet, Telaretti, & Gaetano, 2014), la ecuación 25 muestra la formula TIR (Tasa Interna de Retorno):

$$0 = \sum_{y=1}^y \frac{C_y}{((1+TIR)^y)} - C_0 \quad (25)$$

El costo del Ciclo de Vida se dirige es hacia un análisis costo – beneficio en el contexto de eficiencia energética y del rendimiento medioambiental del proyecto a lo largo de la vida activa. El objetivo básico es obtener el VAN de todos los flujos financieros del proceso de poligeneración. Un análisis de coste de vida global involucra todos los costes e inversiones producidos desde la adquisición o disposición del terreno, los estudios de viabilidad de su desarrollo futuro, la gestión de toda clase de autorizaciones administrativas, los honorarios técnicos del proyecto, dirección de obra y otras intervenciones profesionales; los costes fiscales y financieros generados por el del sistema y los costes intrínsecos del sistema, los costes de mantenimiento, funcionamiento y rehabilitación y sustitución de elementos durante su vida útil y finalmente debe incorporarse los coste de demolición, gestión de residuos y en su caso reutilización de los elementos recuperables. Para el caso de eficiencia energética, los análisis de CCV destinados a la optimización se prescinden de los rendimientos de explotación quedando restringidos solo los ingresos generados por la energía generada o exportada. (Armengot Paradinas, García Erviti, & Ramírez Pacheco, 2015).

“El procedimiento dinámico que permite comparar flujos financieros (beneficios y costes, ingresos y gastos, cobros y pagos) que tienen lugar a diferentes momentos temporales convirtiendo los flujos futuros en valores actuales se basa en la utilización de la tasa de descuento” (García-Erviti & et al., 2015). El descuento de flujos representa la preferencia por recibir bienes y servicios de la manera más anticipada difiriendo los costes a futuro.

La evaluación económica y financiera de este proyecto tiene su base en el presupuesto general del sistema de poligeneración véase tabla 39 del anexo 2, con un costo total aproximado de la inversión de \$1,464,704,402,15 COP, su viabilidad económica y financiera se evaluó mediante los tres indicadores anteriormente señalados, más otros indicadores como: costo de oportunidad de 19%, un Costo Promedio de Capital (WACC), el Valor Económico

Agregado y el Costo Beneficio ( índice neto de rentabilidad) éste último debe ser mayor a la unidad (1).

Se realizó el supuesto que el proyecto será financiado un 50% por obligación financiera y el resto con dineros del inversionista, esto para realizar el cuadro de amortización de préstamo a largo plazo, con un interés nominal del 8%. En la tabla .9, 10 y 11 se detallan la amortización y el flujo económico-financiero respectivamente.

Tabla 9

*Importe-Interés-cuota.*

Importe	732.352.201,10
Años	5
Interés nominal	8,000%
Período de pago	anual
Costo efectivo	5,12%
Tipo de amortización	Pago interés
Cuota	\$ 184.874.942,38

*Fuente: Autor 2019*

Tabla 10

*Flujo de amortizaciones*

Periodo	0	1	2	3	4	5
Saldo	732.352.201	608.262.491	473.873.336	328.329.880	170.706.318	0
Cuota		-184.874.942,4	-184.874.942,4	-184.874.942,4	-184.874.942,4	-184.874.942,4
Amortización		-124.089.709,69	-134.389.155,59	-145.543.455,51	-157.623.562,31	-170.706.317,98
Interés		60.785.232,7	50.485.786,8	39.331.486,9	27.251.380,1	14.168.624,4

*Fuente: Autor 2019*

Tabla 11

*Flujo económico y financiero*

Año	0	1	2	3	4	5
Concepto	Inversión	año 2020	año 2021	año 2022	año 2023	año 2024
Ingreso x ventas		486.488.640	501.083.299	516.115.798	531.599.272	547.547.250
Costo de operación		30.542.640	31.764.346	33.034.919	34.356.316	35.730.569
Inversión fija tangible	921.591.968,78					
Inversión fija intangible (IFI)	543.112.433,37					
Depreciación		-252.090.402	-240.735.764	-229.381.127	-218.026.489	-206.671.851
Gasto financiero		60.785.232,7	50.485.786,8	39.331.486,9	27.251.380,1	14.168.624,4
Utilidad antes del impuesto		203.855.598	228.583.189	253.699.752	279.216.467	305.144.831
Impuesto 33%		67.272.347	75.432.452	83.720.918	92.141.434	100.697.794
Utilidad después impuestos		136.583.251	153.150.737	169.978.834	187.075.033	204.447.036
Depreciación		252.090.402	240.735.764	229.381.127	218.026.489	206.671.851
Flujo de caja económico	-1.464.704.402,15	388.673.653	393.886.501	399.359.961	405.101.522	411.118.887
Préstamo						
Amortización		-124.089.710	-134.389.156	-145.543.456	-157.623.562	-170.706.318
Interés		60.785.233	50.485.787	39.331.487	27.251.380	14.168.624
Valor de salvamento		0	0	0	0	206.671.851
Escudo fiscal						
Flujo de caja financiero	-732.352.201	203.798.710	209.011.559	214.485.018	220.226.579	432.915.796

*Fuente: Autor 2019*

### Capítulo III

#### Análisis de la radiación solar

En la figura 11 (Pareto) se muestra la radiación solar horizontal de la zona de estudio, con un valor de 6,5 (kWh/m<sup>2</sup>/día), y una frecuencia de 4,297 que representa el 48% de la radiación solar durante el periodo de tiempo comprendido enero de 1989 y enero de 2018; dicha radiación solar es apropiada para que el sistema fotovoltaico tenga mejor rendimiento en la generación de energía eléctrica. Se puede observar que dentro del 80-20%, los valores, 6.5, 5.5 y 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, son los que se tienen en cuenta para la simulación.

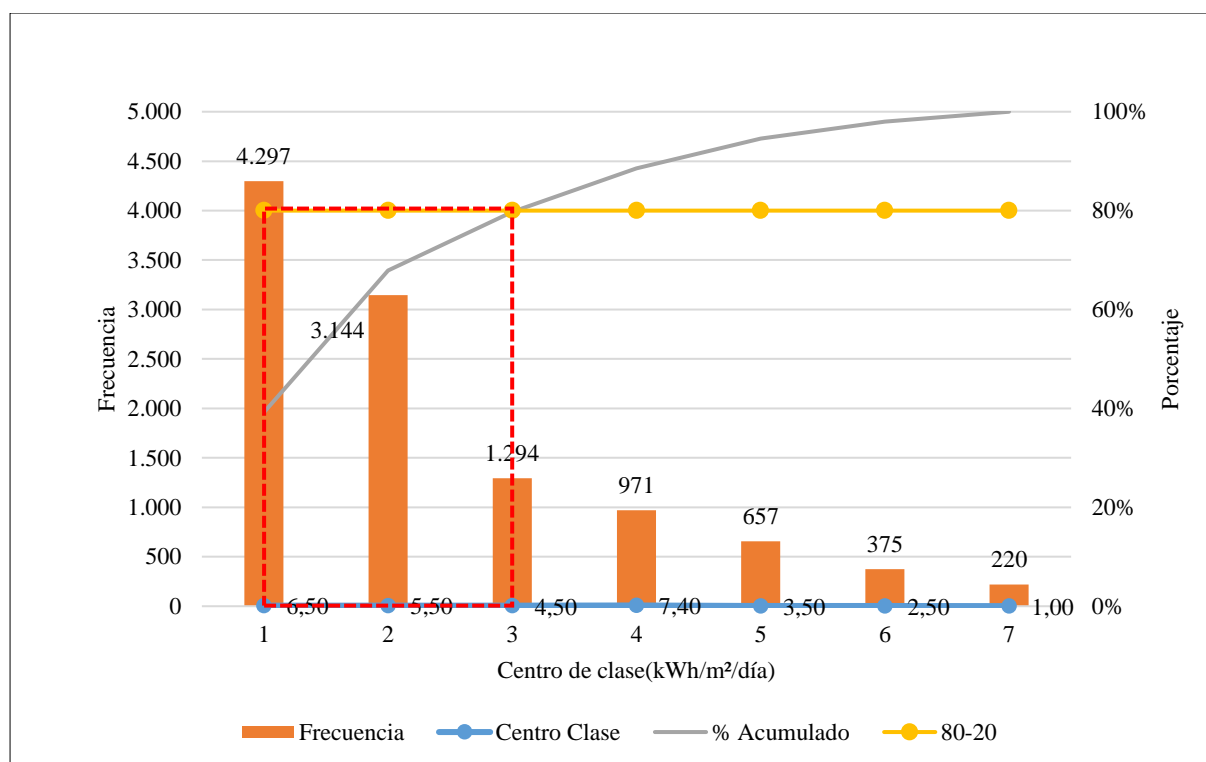


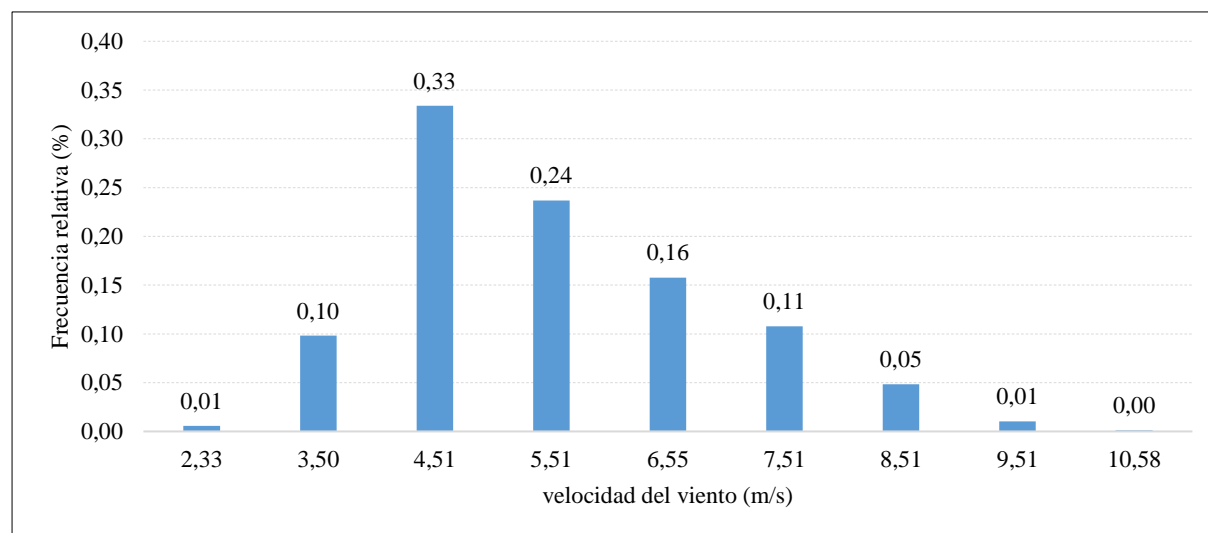
Figura 11 Diagrama de Pareto

Fuente: Autor



### Análisis estadístico de la velocidad del viento.

De acuerdo con la figura 12, la mayor frecuencia es de 0,33 que corresponde a la velocidad del viento de 4,51 m/s.



*Figura 12 Frecuencia relativa vs Velocidad del viento*

*Fuente: Autor (2019)*

El aerogenerador Bergey 10 R 10 kWh colocado a una altura de 10, 30 y 50 metros y con la velocidad anteriormente mencionada, la generación eléctrica mensual se muestra en tabla 12.

*Tabla 12*

*Generación eléctrica Bergey Excel 10 R a 4,51 m/s*

10 m E(KWh/mes)	30 m E(KWh/mes)	50 m E(KWh/mes)
555,24	1073,38	1.458,35

*Fuente: Autor 2019*

Anualmente el aerogenerador Bergey Excel 10 R 10 kW, genera 6.662,9, 12.880,5 y 17.500,2 kWh/año a 10, 30, 50 metros de altura respectivamente, resultado que se aproximan a lo señalado en las especificaciones técnicas.

### Análisis de Weibull de la velocidad del viento.

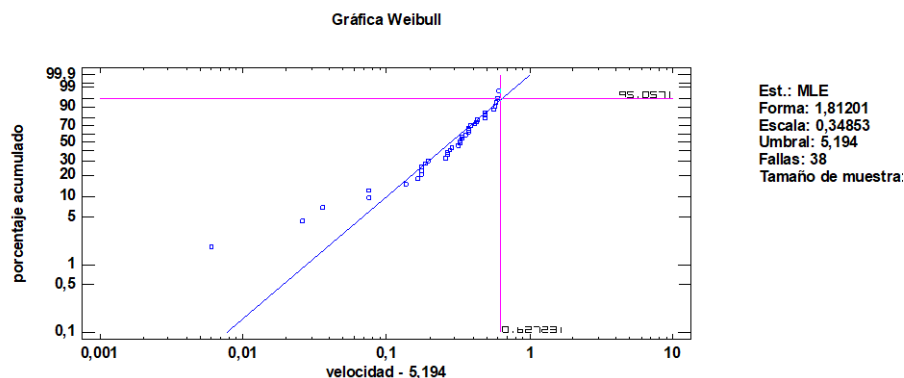


Figura 13 Porcentaje acumulado vs Velocidad del viento

La figura 13 asume que el valor máximo de la distribución estaba localizado en 5,194, de los 38 datos, 0 fueron tratados como censurados por la derecha, lo que significa que los valores reales pueden ser mayores que los indicados.

Tabla 13

*Prueba de bondad de ajustes para la velocidad*

	<i>Weibull</i>
DMAS	0,0982098
DMENOS	0,0721166
DN	0,0982098
Valor-P	0,857045

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 13 muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si la velocidad puede modelarse adecuadamente con una distribución de Weibull, debido al valor P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05 no se puede rechazar la idea de que la velocidad proviene de una distribución de Weibull del 95% de confianza.

### Análisis del generador diésel

El Generac Genset de 25 kW, el consumo de combustible específico es de 0.402 l/kW/h, para la producción de 7182 kWh/año, el consumo de combustible es de 2885 litros y un

factor de capacidad 3,28, eficiencia promedio de electricidad 25,3 % son valores muy bajos debido a que el generador no funcionó a plena carga por estar condicionado a funcionar 5% del total de la demanda o sea un promedio de 4 a 5 horas diarias cuando se requieran.

### **Resultados de la simulación en el software Homer Pro.**

La arquitectura del modelo del sistema de Poligeneración AC/DC simulado se muestra en la Figura 7. El sistema consta de dos buses eléctricos: Bus AC y DC; el consumo de la carga es en AC, por lo que se busca convertir toda la electricidad producida por los generadores a esta misma, el único generador cuyo diseño permite producir AC es el diésel, el cual se conecta directamente a la red que distribuye la energía a la carga. Tanto el arreglo PV como la Turbina y el arreglo de baterías funcionan con DC, por el cual se conectan al inversor rectificador híbrido.

El convertidor de potencia de interconexión se conecta a los dos buses entre sí, actuando como un rectificador o inversor dependiendo del estado de potencia del sistema. En el modo rectificador, se transfiere energía del bus de AC al bus DC cuando hay un exceso de energía en el bus AC y hay una demanda instantánea de energía del bus DC. Alternativamente, en el modo de operación del inversor la energía se transfiere del bus DC al bus AC siempre que haya un exceso de energía en DC y haya una demanda instantánea de energía del bus de AC. En ambos modos de operación, se debe tener en cuenta el Soc del sistema de almacenamiento de energía. Al modelar la batería, Homer Pro incluye en el modelo de batería un regulador de carga para garantizar que la condición de funcionamiento especificada no se viole a través de las curvas características Estado de Carga (Soc) y Profundidad de Descarga (DoD).

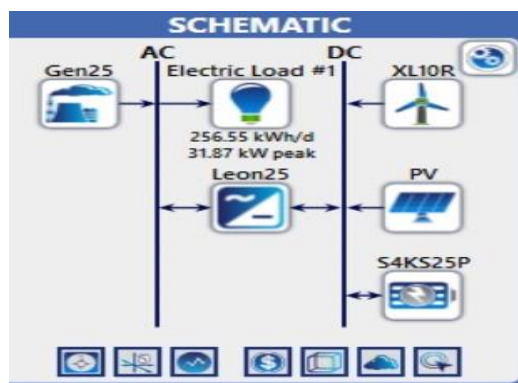


Figura 14 Arquitectura del sistema

Para la simulación se ingresaron valores de carga que se detallaron en el perfil de carga de la figura 14, sólo se modificó el recuadro llamado Scaled Annual Average (kWh/Day) colocando el valor de la potencia total requerida 256,67 kWh/día, luego se estructura la red de acuerdo a la tabla 9, cada uno de los elementos se modela de acuerdo a las especificaciones técnicas ya anteriormente mencionadas en las tablas 2, 4 y 5, y en los anexos 3 y 5.

Se escogió una tasa de descuento nominal fue del 8% y la inflación esperada del 3% para una tasa de descuento real del 4.85%, el número de años para calcular el costo neto actual del proyecto fue de 25 años. Desde la tabla 14 hasta la tabla 32 se detallan los resultados de la simulación. En la Tabla 14 se muestra una corta descripción con los valores principales de capacidad nominal del sistema.

Tabla 14

*Simulación de los elementos de configuración*

Componente	Nombre	Capacidad nominal
PV	Generic Flat Plate	24.3 kW
Turbina Viento	Bergey Excel 10 - R	10 kW
Generador	Genset 25 kW	25 kW
Almacenamiento	Surrete 4 KS 25 P	18 strings
Convertidor	Leonics MTP 413 F 25 kW	25 kW
Estrategia de entrega		Estrategia de despacho

*Fuente Autor 2019*

La Tabla 15 muestra una corta descripción con los valores principales del costo del sistema.

Tabla 15

*Costos principales*

Elemento	Costo del sistema
Valor presente neto	1,045.869.000.0 COP
LCOE	963.38 \$/kWh
Costo de operación	34,351.610.0. \$/año

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 16 se distingue los costos de cada tecnología empleada en cada uno de los aspectos del ciclo de vida

Tabla 16

*Valor presente neto por componentes*

Componente	Capital (\$)	Reemplazo (\$)	O & M	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
Bergey 10	136.000.000	36.511.502	0	0,0	-19.711.227	152.800.274
Gen. 15 kW	17.900.000	7.414.332	29.887.679	78.767.937	-466.982	133.502.967
PV	24.586.885	0	101.032.592	0,0	0,0	125.619.477
H LF	10.000.000	0	0	0,0	0,0	10.000.000
Leonics 25	140.000.000	11.012.468	0	0,0	-1.352.731	149.659.736
Surrete 4	180.000.000	48.324.046	0	0,0	-26.088.388	202.235.658
Otro	129.546.080	0	142.449.472	0,0	0,0	271.995.553
Sistema	638.032.966	103.262.349	273.369.744	78.767.937	-47.618.329	1.045.813.668

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 17 muestra el valor del costo anual de cada una de las fases del ciclo de vida del sistema de manera separada

Tabla 17

*Costo anualizado por componente*

Componente	Capital (\$)	Reemplazo (\$)	O & M	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
Bergey 10	14.320.867	3.844.679	0	0	-2.075.601	16.089.944
PV	3.305.739	0	13.583.965	0	0	16.889.704
H LF	842.403	0	0	0	0	842.403
Leonics	11.793.655	927.694	0	0	-113.954	12.607.395
Surrete	16.679.598	4.477.920	0	0	-2.417.465	18.740.053
Otro	10.913.013	0	12.000.000	0	0	22.913.013

Sistema	57.855.277	9.250.294	25.583.965	0	-4.607.022	88.082.514
---------	------------	-----------	------------	---	------------	------------

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 18 separa la producción eléctrica por cada uno de los sistemas; se observa que la producción primaria se logra mediante la turbina, seguido por PV y por último el generador diésel.

Tabla 18

*Producción total de electricidad*

Componentes	Producción (kWh/año)	Porcentaje
Turbina de viento	162,918	77
PV	41,417	19.6
Generador Diésel	7,182	3.40
Total	211,517.	100

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 19 muestra la electricidad producida por: los módulos PV, Generador y la turbina. Se trata de una comparación entre sistema PV vs el consumo de carga.

Tabla 19

*Cantidad anual*

Cantidad	Valor	Porcentaje	Unidades
Electricidad excedente	109,956	45.6	kWh/año
Carga no suministrada	2,187	2.36	kWh/año
Escases de capacidad	9,369	9.92	kWh/año
Fracción renovable	92.1		%
Max. Penetración de Renovables	3,666		%
Consumo de carga	91,454	100	%

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 20 muestra los valores sobre el arreglo fotovoltaico de la conexión de los módulos fotovoltaicos.

Tabla 20

*Valor nominal del arreglo*

Cantidad	Valor	Unidades
Capacidad nominal	24.3	kW
Potencia Promedio	4.73	kW

Potencia Promedio	113	kWh/d
Factor de Capacidad	19.5	%
Producción Total	41,417	kWh/año

*Fuente: Autor 2019*

Con respecto a la tabla 21, se muestra el comportamiento de dicho arreglo en una hora promedio.

Tabla 21

*Comportamiento del arreglo PV*

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Potencia mínima	0	kW
Potencia Máxima	23.6	kW
Penetración PV	44.2	%
Horas	4,380	hr/año
Costo nivelado	212	Costo en \$/kWh

*Fuente: Autor 2019*

En la tabla 22, se muestra los valores nominales de la turbina

Tabla 22

*Valor nominal de la turbina Bergey Excel*

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Capacidad nominal total	100	kW
Potencia promedio	18.6	kW
Factor de capacidad	18.6	%
Producción total	162,918	kWh/año

*10 R 10 kW*

*Fuente: Autor 2019*

En la tabla 23 se muestra el comportamiento de la turbina en una hora promedio del día.

Tabla 23

*Comportamiento de la turbina*

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Potencia mínima	0	kW
Potencia máxima	90.2	kW

Penetración del viento	174	%
Horas de operación	7,873	hr/año
Costo nivelado	98.8	Costo \$/kWh

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 24 muestra las características sobre el generador diésel Genset 25 kW.

Tabla 24

*Valor nominal del generador Genset 25 kW- diésel*

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Horas de operación	1120	hrs/año
Número de arranques	368	arranques /año
Vida operativa	13.4	año
Factor de capacidad	3.28	%
Costo de generación fijo	5,341	\$/hr
Costo de generación marginal	628	Costo\$/kWh año

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 25 describe la potencia producida por generador diésel durante un día promedio.

Tabla 25

*Comportamiento del generador diésel*

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Producción eléctrica	7,182	kWh/año
Potencia promedio	6.41	kW
Potencia mínima	6.25	kW
Potencia máxima	25	kW

*Fuente: Autor 2019*

La tabla 26 muestra la medición del consumo de combustible diésel utilizado por el generador.

Tabla 26

*Costo anual de combustible*

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Consumo de combustible	2,885	L
Consumo de combustible específico	0.402	L/kWh
Entrada de energía de combustible	28,385	kWh/año
Eficiencia eléctrica promedio	25.3	%

*Fuente: Autor 2019*



Nota: El precio del diésel en mes de junio de 2019, se encuentra a 0.71 USD y \$2291.43 COP. En la simulación escogió el valor en \$2,300 COP

En la tabla 27, se describe el número de baterías, su configuración y el voltaje que utiliza.

Tabla 27

Valor nominal del arreglo de la batería

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
Tamaño del arreglo	54
Tamaño de la cadena	3
Arreglos en paralelos	18
Voltaje del cableado	12

*Fuente: Autor 2019*

En la tabla 28 se detalla las características de la batería con respecto a su capacidad como acumulador de energía y costos de mantenimiento y producción.

Tabla 28

*Comportamiento del arreglo de la batería*

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Capacidad nominal	407	kWh
Capacidad nominal utilizable	244	kWh
Autonomía	22.9	hr
Vida esperada	19.3	años
Costo desgaste de mantenimiento	318	\$/kWh
Rendimiento de por vida	569,792	kWh

*Fuente: Autor 2019*

Así mismo en la tabla 29 se describe los parámetros de la batería que interactúan con el rendimiento.

Tabla 29

*Parámetro de la batería a escala anual*

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Energía entrante	33,046	kWh/año
Energía saliente	26,455	kWh/año
Descarga de la batería	20.2	kWh/año
Perdidas	6,611	kWh/año

Rendimiento Anual	29,577	kWh/año
-------------------	--------	---------

*Fuente: Autor 2019*

En la tabla 30 muestra los parámetros relacionado únicamente con el sistema, tal como el tiempo de operación, la energía que pasa a través de él y las pérdidas de energías.

Tabla 30

*Operación-energía-pérdidas*

Cantidad	Inversor	Rectificador	Unidades
Horas de operación	8,634	32	hrs /año
Energía entrante	87,866	26.6	kWh/año
Energía saliente	84,352	28.3	kWh/año
Pérdidas	3,515	1.70	kWh/año
Factor de capacidad	38.5		

*Fuente: Autor 2019*

Las emisiones del sistema, se describe en la tabla 31.

Tabla 31

*Emisiones del sistema*

Cantidad	Valor	Unidad
Dióxido de carbono	7,552	Kg/año
Monóxido de carbono	47.1	Kg/año
Hidrocarburos sin deshidratar	2.08	Kg/año
Material particulado	0.283	Kg/año
Óxido de nitrógeno	44.3	Kg/año
Dióxido de sulfuro	18.5	Kg/año

*Fuente: Autor 2019*

En la tabla 32 se establece el análisis de sensibilidad con el fin de buscar la mejor optimización y que los recursos sean bien aprovechados para buscar el precio razonable y energía sustentable y amigable con el ambiente.

Tabla 32

*Análisis de sensibilidad*

Métrica	Valor
Valor presente	\$ 172,375.100
Valor anual	\$ 14,551.270
Retorno de la inversión %	28.8

Tasa interna de retorno	28.3
TIR	
Simple payback (año)	4
Descuento payback (año)	4.57

*Fuente: Autor 2019*

### **Análisis Económico-financiero.**

Se analiza y se cuantifica financieramente el nivel de influencia del precio de la energía, respecto a la rentabilidad del proyecto, con base en el presupuesto general y los resultados arrojados por Homer pro.

#### **Influencia de la energía en la rentabilidad del proyecto**

El precio de la energía está directamente relacionado con los ingresos del proyecto, por tal motivo al aumentar este valor, la rentabilidad del proyecto se verá beneficiada; en los siguientes gráficos se muestran la variación de los indicadores financieros principales para distinto precio de la energía, de acuerdo con los años de retorno de la inversión. Se tuvo en cuenta el precio de la energía eléctrica de la simulación (\$963,38 COP).

Como se observa en la tabla 33, el precio de la energía se incrementa linealmente para periodos de retorno de la inversión de 5 años, para un precio de \$963,38/kWh, la VAN es negativa y su TIR es negativa lo cual el proyecto a ese precio no es factible. Se observa que, al irse incrementando el precio de venta de la energía eléctrica, la VAN se hacen positiva así mismo su TIR, por lo tanto, la mejor alternativa es el precio de \$2300/kWh.

*Tabla 33*

*Precio de la energía vs Retorno inversión*

Precio energía producida \$(/kWh)	Retorno inversión (Años)	VAN \$ Millones	TIR %
\$ 963	5	-537	-19
\$ 1.900	5	23	25
\$ 1.990	5	76	28
\$ 2.300	5	267	24

*Fuente: Autor 2019*

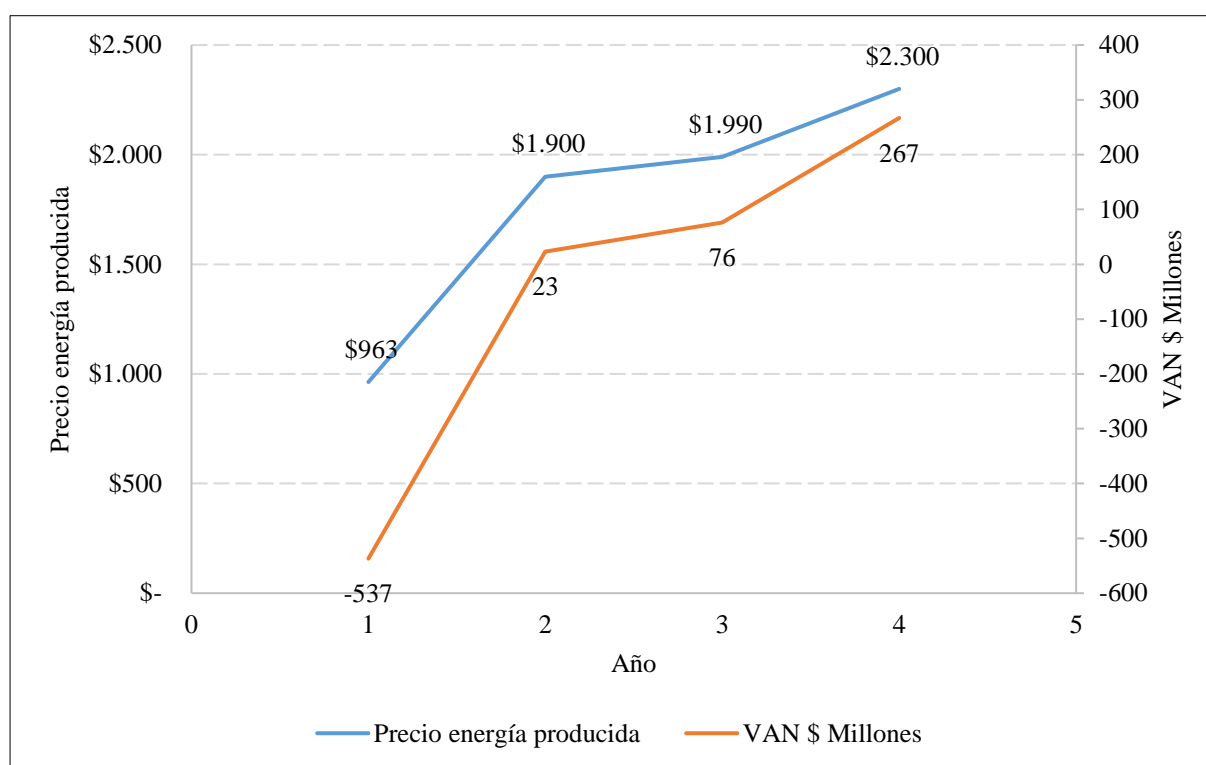


Figura 15 Relación entre el costo de energía y periodo retorno de la inversión

Fuente: Autor 2019

En la tabla 34, 35 y 36 se observan el comportamiento de la VAN y la TIR con diferentes periodos de retorno de la inversión.

Tabla 34

Precio de la energía vs Retorno inversión

Precio energía producida \$/(kWh)	Retorno inversión (Años)	VAN \$ Millones	TIR %
\$ 963	10	-3	8
\$ 1.900	10	999	32
\$ 1.990	10	1095	34
\$ 2.300	10	1427	40

Fuente: Autor 2019

Tabla 35

*Precio de la energía vs retorno inversión*

<b>Precio energía producida \$/ (kWh)</b>	<b>Retorno inversión (Años)</b>	<b>VAN \$ Millones</b>	<b>TIR %</b>
\$ 963	15	964	8
\$ 1.900	15	1714	32
\$ 1.990	15	1844	34
\$ 2.300	15	2291	40

*Fuente: 2 Autor 2019*

Tabla 36

*Precio de la energía vs retorno inversión*

<b>Precio energía producida \$/ (kWh)</b>	<b>Retorno inversión (Años)</b>	<b>VAN \$ Millones</b>	<b>TIR %</b>
\$ 963	20	\$ 618	8
\$ 1.900	20	\$ 2.120	32
\$ 1.990	20	\$ 2.814	34
\$ 2.300	20	\$ 2.939	40

*Fuente: Autor 2019*

### **Indicadores económicos -financieros**

En la tabla 37 y 38 se observan que las VAN y la TIR, tanto la económica como las financiera son positivas, esto quiere decir que el proyecto es viable y atractivo para el inversionista, ya que su flujo de caja es positivo y creciente a través del tiempo (como se observa en la tabla 10 de la sección 2.9.2); sus respectivas TIR generan una rentabilidad que cumplen con las expectativas, referente al indicador costo-beneficio (índice neto de rentabilidad) es positivo y mayor a 1, tanto en la evaluación económica como financiera es de 1,01 y 1,36 respectivamente, esto hace que el proyecto se haga más atractivo.

Tabla 37

*Evaluación económica*

VA	\$ 1.592.164.331,01
Inversión	-1.464.704.402,15
VAN	\$ 127.459.928,86
TIR	11%
Costo Beneficio B/C=	1,1

*Fuente: Autor 2019*

Tabla 38

*Evaluación financiera*

VA	\$ 964.669.681,96
Inversión	-732.352.201
VAN	\$ 262.317.480,89
TIR	19%
Costo Beneficio B/C=	1,36

*Fuente: Autor 2019*

Tabla 39

*Inversión costo de oportunidad*

Inversión	1.464.704.402,2	
Recursos propios	50%	732.352.201,1
Obligación Financiera	50%	732.352.201,1
Costo de la deuda	5.12%	
Impuesto a la renta	33%	
Costo de oportunidad	19%	

*Fuente: Autor 2019*

En la tabla 39 se detalla el porcentaje de los recursos propios y de la obligación financiera y el costo de la deuda. Para el caso en particular el costo de oportunidad que un inversionista propone es del 19%, así como el impuesto a la renta del 33% (en Colombia). Las variables de la tabla mencionada es el soporte de la tabla 40 de ponderación.

Tabla 40

*Ponderación*

Costo promedio ponderado de capital WACC				
	Monto	Mezcla de capital	Costo	Ponderación
Recursos propios	732.352.201,1	50%	19%	9,50%
Obligación Financiera	732.352.201,1	50%	3,43%	1,72%
Total	1.464.704.402,2	100%		11,22%

*Fuente: Autor 2019*

En cuanto al costo promedio ponderado de capital (WACC), que es del 11,22%, es lo que cuesta a la empresa la financiación tanto interna como externa, en otras palabras, sería la rentabilidad mínima que debe rentar el proyecto para cubrir el costo del accionista, ya que ese costo se traduce después a dividendos; también daría para cubrir la obligación financiera y los impuestos. La WACC se convierte como la tasa de interés de oportunidad de una organización.

El valor del proyecto tiene un valor de \$1.469.720.237,98 COP (véase tabla 41), quiere decir que, si se quiere vender el proyecto, sería el valor mínimo de venta; en cuanto a la viabilidad financiera es la ganancia que se tiene después de haberse recuperado los recursos invertidos.

Tabla 41

*Indicadores financieros*

Costo de oportunidad	0,190
Rentabilidad del proyecto (TIR)	0,193
WACC	0,112
Valor económico agregado (EVA)	0,0806
Valor del proyecto	\$ 1.469.720.237,98
Viabilidad financiera	\$ 5.015.835,83
Rentabilidad económica	\$ 1.216.042.401,87

*Fuente: Autor 2019*

El valor económico agregado (EVA) cuyo valor es del 8,06%, es la rentabilidad adicional que genera el proyecto una vez que se haya recuperado los recursos invertidos De acuerdo con los resultados obtenidos de Homer Pro como los obtenidos en Excel, tienen similitudes, estas señalan que el proyecto es viable y compatible con el medio ambiente.

En las figuras 16 y 17 se resume gráficamente los indicadores económicos y financieros.

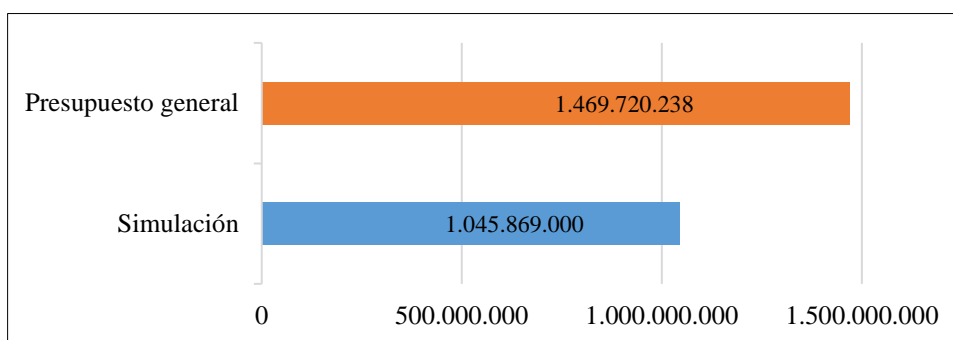


Figura 16 VAN simulación vs VAN Excel

Fuente: Autor 2019

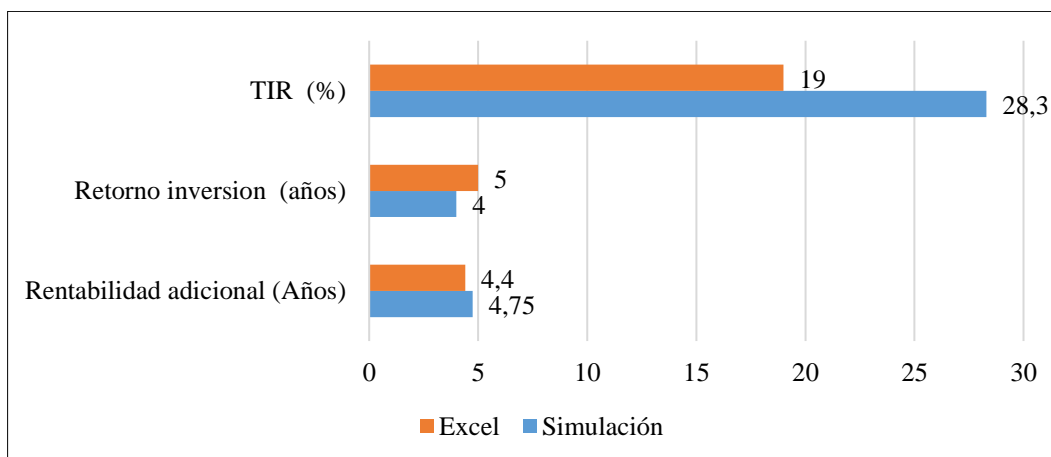


Figura 17 TIR- Pay Back- Rentabilidad adicional de la simulación vs Cálculos en Excel

Fuente: Autor 2019

En la figura 18 se muestra la generación de energía eléctrica con la misma configuración pero en este caso solo participa la energía fotovoltaica y la eólica, cuyo valor generado es de 202,01 kWh/año donde la mayor participación es la eólica con 162,918 con un 80,6% y la PV



con 39,093 kWh año y 19,4% para un costo presente neto de \$933.186.300,0 COP y un LCEO de \$870,15, costo de operación \$23.201.770,0 COP, este resultado nos indica que sería una mejor opción para implementar el proyecto, pero dicha generación no es confiable en un momento dado al cambio de condiciones atmosféricas adversas.



Figura 18 Generación PV -Eólica

Fuente: 3 Homer Pro (modificado) 2019

Se realizó también una simulación con la misma configuración, pero con el sistema conectado a red como se ve en la Figura 8, la producción de energía eléctrica es de 133.668 kWh, donde la mayor participación es la generación eólica seguida de la red y la PV con 81.489, 50.254, 1.955 kWh respectivamente. El consumo total del sistema es de 117.390 kWh/año. El costo presente neto del sistema es de \$604 107.100,0, un LCOE \$433.1.

El sistema de generación conectado a red sería la mejor opción, pero su confiabilidad es mucho menor por las condiciones negativas que la empresa distribuidora afronta en estos momentos. Además, en la simulación se realizó en Modo de Tarifas Simples que solo permite

establecer un precio de energía constante y un precio de devolución. Para mejor detalle del sistema véase archivo adjunto (reporte redmisa en Pdf).

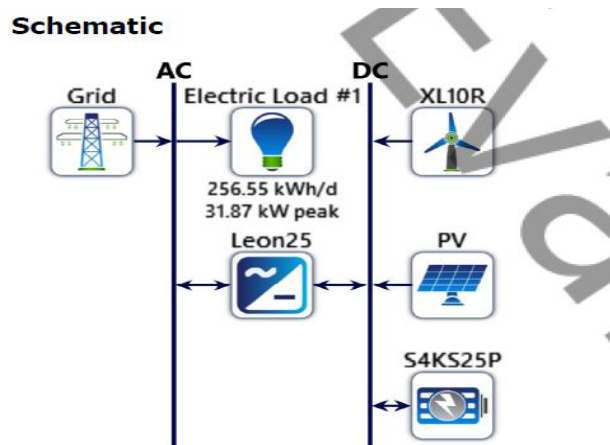


Figura 19 Arquitectura sistema conectado a red

Fuente: Autor 2019 Modificado Homer Pro)

En la figura 19 se detallan los Costos Presentes Netos de los sistemas con la misma configuración, a excepción del sistema conectado a red que no interviene el generador diésel en el bus AC. Como se observa el sistema PV-Eólico-Generador diésel su Valor Actual Neto es mayor, pero su confiabilidad es mayor a las anteriores. El calculado en Excel solo es una referencia basada en el presupuesto general y no tiene las variantes que Homer Pro establece.

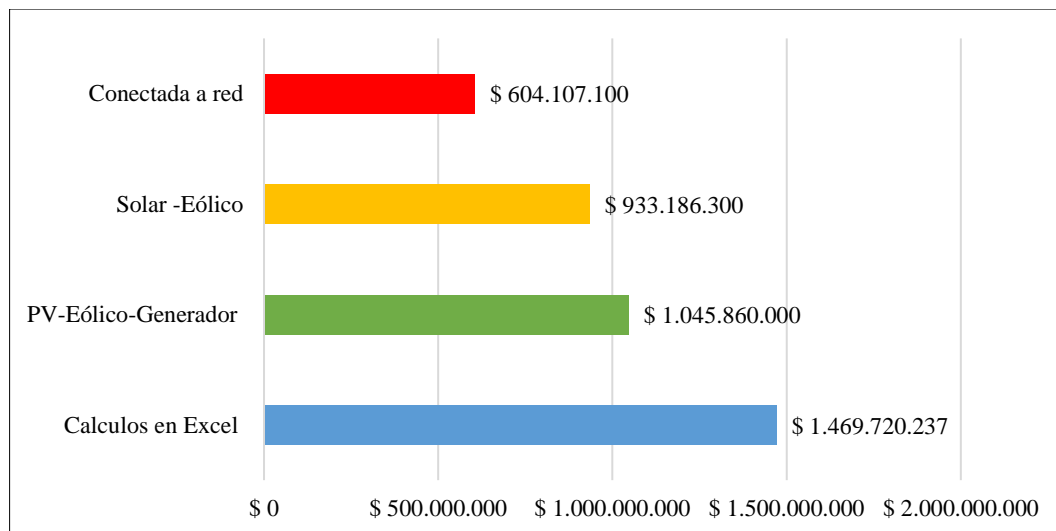


Figura 20 Comparación de la VAN en los diferentes sistemas simulados

Fuente: 4 Autor 2019

### Análisis Energético

Los datos relevantes tomados de la simulación son: Fracción Renovable, con una participación del 92,1 %, y es la relación de la energía producida por las fuentes de energías renovables versus la energía total producida por el sistema (211.517 kWh/año); este factor es representativo de la reducción del uso del diésel.

El Porcentaje de excedente de electricidad (45,6%), que es un excedente de energía eléctrica que debe descargarse (o reducirse) porque no puede usarse para servir una carga o cargar las baterías, esto ocurre cuando se produce un exceso de energía ya sea por la fuente renovable o por el generador diésel cuando su salida mínima excede la carga. Es posible tener una escasez de capacidad en un bus, y tener un exceso en el otro en el mismo paso del tiempo si hay un convertidor de menor tamaño; lo que se podría hacer es utilizar un calentador resistivo o una caldera eléctrica para con el exceso de electricidad, producir energía térmica que sería un valor agregado al sistema.

El cálculo de factor de planta del sistema solar fotovoltaico, eólico y diésel que conforman el sistema permitió obtener un resultado de 19,5%, 18,6% y 3,28%

respectivamente; para el sistema solar el factor de planta se encuentra dentro de un rango aceptable, debido a la elevada radiación de la zona y por consiguiente el número de horas efectivas de radiación estándar al día, para el caso en particular fueron de 4.380 hr/año de operación con una producción de 41.417 kWh/año.

El factor de planta del sistema eólico que operó 7873 hr/año y generó 162.918 kWh/año, es debido a los vientos continuos y la velocidad de arranque mínimo (2,2 m/s) y el área de barrido de la turbina (38,48 m).

El factor de planta del sistema eólico se incrementa rápidamente con un aumento del tamaño del sistema dado que esto conlleva con el uso de una torre más alta, con la cual se aprovechan vientos con mayor velocidad y, por tanto, mayor potencial energético, así mismo, teniendo una turbina con un rotor de mayor diámetro, aumenta el área de barrido lo cual es cúbicamente proporcional a la cantidad de energía aprovechada. En el caso del sistema fotovoltaico, un aumento en las unidades de paneles no conlleva a un a tener un mayor factor de planta, lo cual se mantiene constante en función a la potencia instalada.

De lo anterior se deduce que un incremento en el tamaño del sistema, la relación entre la potencia solar y eólica instalada se incrementaría gradualmente llevando a un factor de planta global y por ende una reducción en el costo de la energía generada; esto se concluye con el precio de la energía solar con valor de 220 \$/kWh y la eólica 98,8 \$/kWh

En cuanto al factor de planta del sistema diésel con 3,28%, es debido a que se configuro en un 5 % su participación en generación total del sistema, su producción es de 7182 kWh/año con un costo de 628 \$/kWh/año. Si se modifica la programación del generador forzándolo a reducir las horas de operación, se lograría que el sistema fotovoltaico o eólico tuviese mayor porcentaje en generación eléctrica.

### **Evaluación Ambiental**

La instalación y el uso de fuentes no convencionales de energía (FNCE), como lo es la energía eólica y la fotovoltaica, así mismo como todo proyecto que se ejecute en cualquier región, tienen asociado unos impactos ambientales, económicos y sociales (Cabrera, Pasqualino, & Vanegas Chamorro, 2015). La necesidad de reducir los impactos ambientales se requiere que cualquier diseño de plantas solares y eólicas se considere los aspectos medioambientales como son el consumo de recursos naturales, la emisión de gases efecto invernadero (GEI) o los impactos globales. Algunos estudios (Ortiz , Pasqualino , & Castells , 2010) (Gutiérrez, Salvador, Gómez-de León, Berenice, & Eugenia, 2016) han puntualizado que dentro de las etapas de construcción, operación y desmantelamiento de proyectos e energía solar y eólicos los impactos generados dentro del componente Biótico, Abiótico y Socioeconómicos, son menores en comparación con los impactos generados por el sistema convencional de generación de energía eléctrica. A pesar de que la energía solar fotovoltaica sus impactos son más positivos que negativos no deja de preocupar las grandes extensiones que ellas ocupan, lo mismo sucede con los acumuladores que se necesitan para su almacenamiento porque sus constituyentes son de plomo y ácido sulfúrico, lo mismo sucede en la fabricación de las celdas que requieren gran cantidad de energía para reducir el mineral de óxido de silicio a silicio de muy alta pureza. Además, las grandes cantidades significativos de residuo de silicio al obtenerse el grosor delgado de dichas celdas; mientras que con la energía eólica los impactos visuales, ruido de los aerogeneradores, interacción con las aves son lo de mayor cuestionamiento no obstante el impacto del ruido ha disminuido como resultado de los nuevos avances tecnológicos. (Vega de Kuyper & Morales Ramirez, 2014).

Para el caso en particular no se realiza una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) ni un Diagnóstico Ambiental de Alternativa, (DAA), tampoco un análisis de ciclo de vida (ACV), por lo tanto, sólo se consideran los resultados arrojados de la simulación del sistema

de poligeneración. En la tabla 30 muestra que la producción de Dióxido de carbono es la más significativa con 7552 kg/año es decir 98% de todo el sistema, seguida del monóxido de carbono y del monóxido de nitrógeno con 47,1 y 44,3 kg/año respectivamente, y en menor proporción el dióxido de sulfuro, hidrocarburos sin hidratar y el material particulado; todos estos gases hacen parte de los Gases Efectos invernadero (GEI). Pero para saber si existe una disminución de CO<sub>2</sub> en el ambiente se realizó una simulación con la misma carga y con las mismas características meteorológicas utilizando solamente el generador diésel la figura 21 se visualiza el esquemático, y en la figura 22 las emisiones.

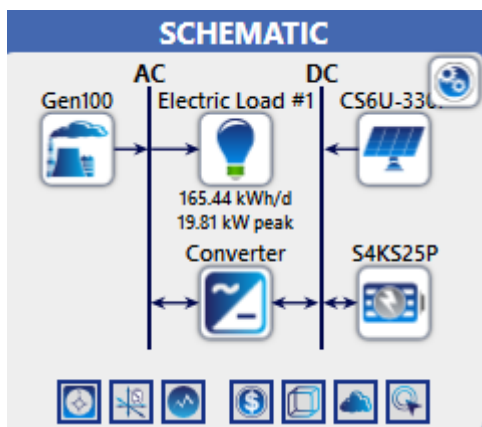


Figura 21 Conexión del sistema

Fuente: Autor 2019

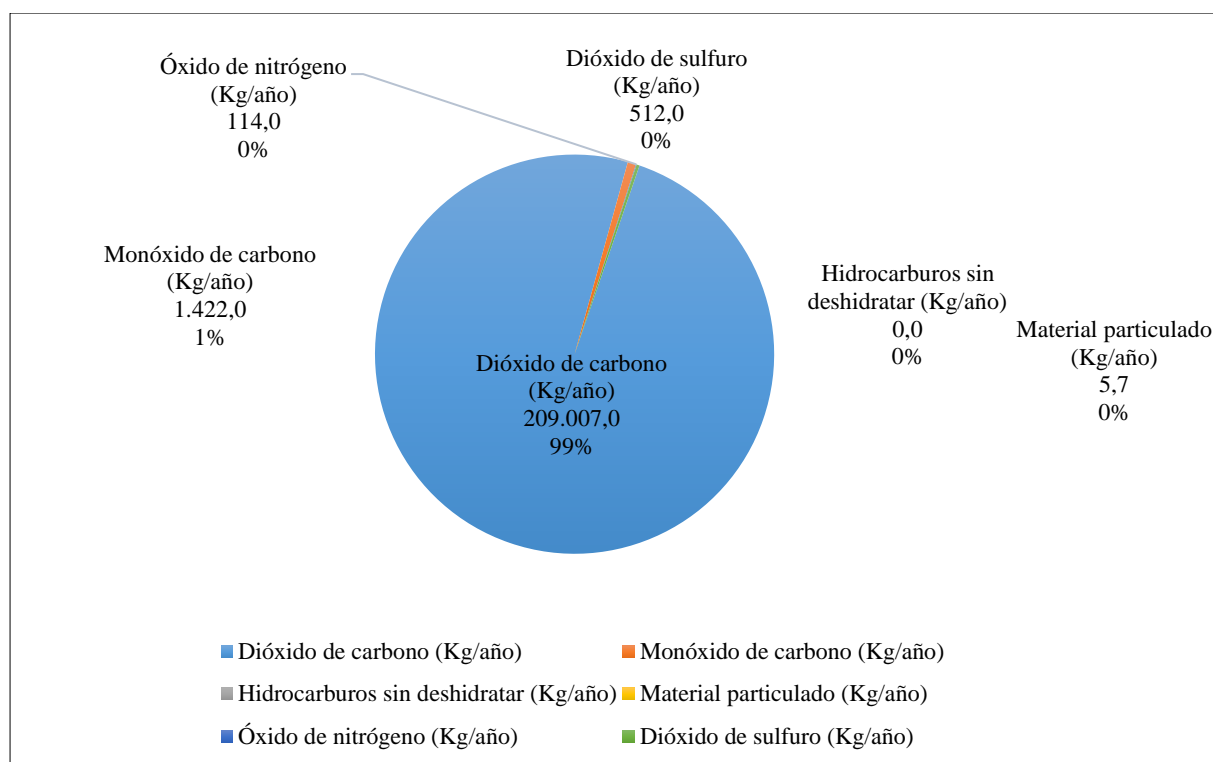


Figura 22 emisiones con solo el generador diésel

Fuente: Autor 2019

Como puede verse en la figura 23 las emisiones de contaminantes es 2,6 veces a la cantidad que emite el sistema de poligeneración. Se observa la diferencia de las emisiones entre los dos sistemas., lo cual estas emisiones son mucho más significativas

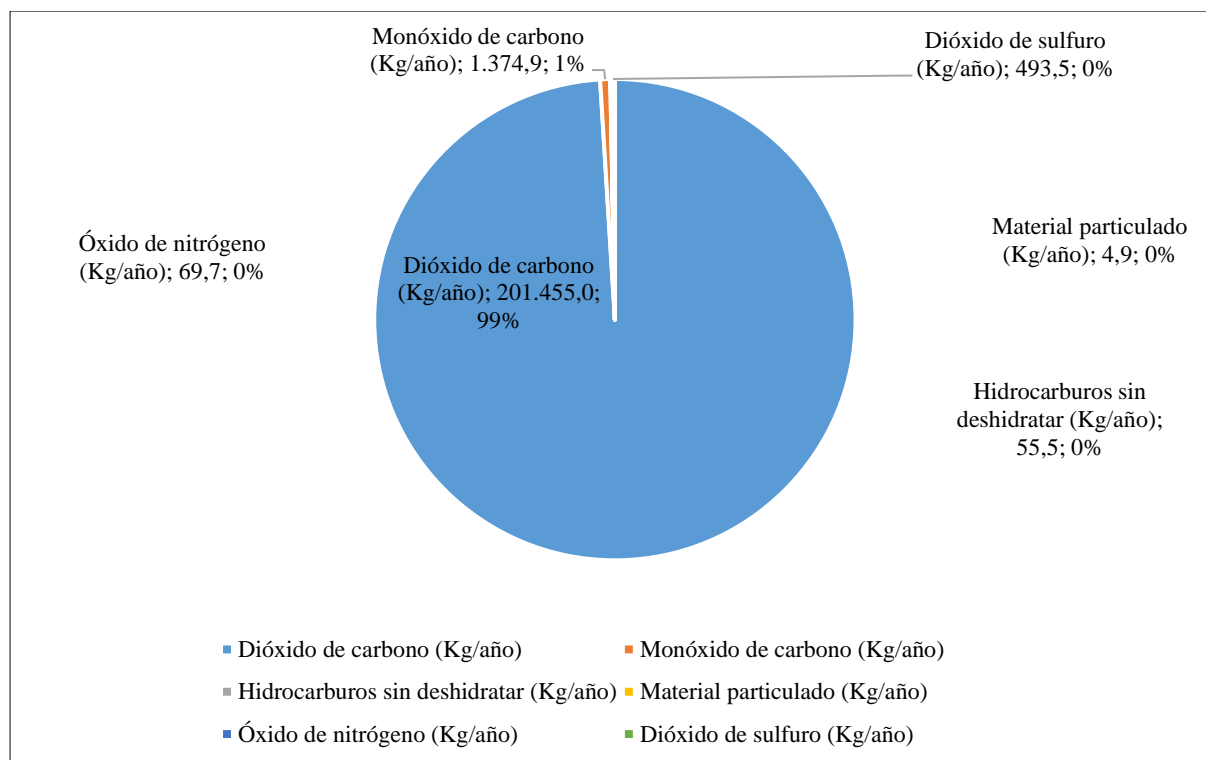


Figura 23 Cantidad de exceso de emisiones con generación diésel

Fuente: Autor 2019



### Conclusiones

Se describieron los conceptos de poligeneración y a la vez se realizaron los balances técnicos económicos ambientales y en qué consistían cada uno de ellos; así mismo se realizó una caracterización de la demanda energética de la zona de estudio que con los datos obtenidos del recurso energético se logró modelar el sistema de poligeneración y poder realizar la simulación mediante la herramienta de Homer Pro, lográndose obtener los objetivos del proyecto, lo cual era de ser sostenible económicamente y ambientalmente.

Los resultados de la simulación realizada en Homer Pro arrojó resultados de: un Valor Presente Neto de \$1.045.869.000,0 COP, un LCOE, de 963,38 \$/kWh, y un Costo de Operación de 34.351.610,0 \$/año.

El costo de la electricidad promedio de fotovoltaica en el mercado energético está en 2.970 \$/kWh, a fecha de Julio de 2019, por lo que los precios arrojados por Homer Pro resultan económicamente viables, el costo nivelado en la generación PV es de \$212 /kWh/año COP, así mismo, por la generación diésel \$628 kWh/año COP y de \$98,8 kWh/año COP por la generación eólica.

El sistema de poligeneración presenta un Valor presente de \$172.375.100,00. COP, un Valor Actual Anual de \$14.551.270,00 COP, una Tasa de Retorno (TIR) de 28.3% a una tasa de retorno económico del 28,8%, una retribución simple 4 años (periodo de recuperación de la inversión), y una retribución por descuento de 4,57 años.

El sistema de Poligeneración que se calculó en Excel con base en el presupuesto presenta financieramente un Valor actual del proyecto de \$ 1.469.720.237,98 COP, una TIR de 19 %, una relación costo beneficio de 1,36, la recuperación (Pay Back) se hace en 4,4 años (cuatro años, cuatro meses y 24 días), la rentabilidad adicional (EVA) es del 8%.

Hay que tener en cuenta que la carga en el sector los Olivos es baja, y la distancia entre la red eléctrica y el sector no es considerable, por lo que el proyecto es aún más viable.

Entre la recomendación que se ofrece es considerar un poblado con mayor número de habitantes y más alejado de la red eléctrica, para justificar la adquisición de generadores a un precio más económico.

Se debe hacer una investigación de mercadeo más profunda para la obtención de mejor costo en cada tecnología empleada.

Para mejorar la generación en el sistema fotovoltaico que está en un 19,5%, se podría implementar un dispositivo de seguimiento solar, con esto se lograría aumentar la generación eléctrica y se reduciría los costos de operación.

La implementación de acumuladores con capacidad robusta y periodo de operación es una buena alternativa para emplearse en zonas no interconectadas.

Las emisiones que emite el generador durante las 1.120 horas/año no tienen mucha incidencia en los límites permisibles que contempla la resolución 1962 de 2017 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Con base en este proyecto se pueden desarrollar nuevos proyectos como es la de crear una microempresa que realice la peletización de los residuos madereros y su utilización como combustible para la generación de vapor y cambiar el generador diésel por una de vapor; con ello se lograría: crear fuente de empleo, aunar al desarrollo de la zona, el proyecto se hace más sostenible económica y ambientalmente. Así mismo se lograría implementar un sistema de riego que son soluciones viables y asequibles y que se vincula la energía, agua y alimentos ofreciendo a los agricultores en pequeña escala sus medios de subsistencia, prosperidad económica y seguridad alimentaria.

### Referencias

- Aichmayer, L., Spelling, J., & Laumert, B. (2014). Small Scale Hybrid Solar Power Plants for Polygeneration in Rural Areas. *Energy Procedia*, 1536-1545.
- Al, B., Hongxing, Y., Hui, S., & Xiaobo, L. (2003). Computer aided design for PV/wind hybrid system. *Renewable Energy*, 1491-1512 :[https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00011-9).
- Alamillos Santos, F., Vasquez Pozo, D., Arias Ruiz, A., Fanego Lara, V., & Pescador Tovar, J. (2012). Analysis of Spatiotemporal Balancing between Wind and Solar Energy Resources in the Southern Iberian Peninsula. *TDR*, 2005-2024.
- Alcalá Hortiguela, D., Garijo Hernando, A., & Pueyo peréz, Á. (2014). Ejemplo del uso de la metodología Mixta en el ámbito de la investigación. *Research Gate*, 1 -8.
- Andara Rodriguez, A. (2010). Estudio de factibilidad para el abastecimiento energetico de viviendas unifamiliares a partir de la energia solar. *4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Donostia san sebastioan (España): Universidad del Pais Vasco.
- Arbelaéz García, C. (20 de octubre de 2014). *El sol brilla para las energias renovables en America Latina*. Obtenido de <http://wwf.panda.org/es/?231190/El-sol-brilla-para-las-energias-renovables-en-Amrica-Latina>
- Armengot Paradinas, J., García Erviti, F., & Ramírez Pacheco, G. (2015). El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. *CSIC (consejo superior de investigación científica)*.
- Azevedo, E., Rodrigues, A., Dentinho, T., & Silva, C. (2011). Cost Benefit Analysis to select clean energy solutions in dairy farm milk collection posts in Azores” [ *Journal of Power and Energy Engineering*, 308-316.

Bastien, A., Ringkjøb, H. K., Jourdiér, B., Drobinski, P., Plougonven, R., & Tankov, P.

(2017). Modelling the variability of the wind energy resource on monthly and

*Renewable Energy*, 1435-1439.

Bekele, F. (2017). *Feasibility study of power generation using the off-grid power system*

*Micro hydro-PV-Diesel Generator-Battery for rural Ethiopia in the case of the Indris*

*River in western Ethiopia*. Etiopia: Instituto de tecnologia Addis Ababa.

Belfkira, R., Hajji, O., Nichita, C., & Barakat, G. (2007). Optimal sizing of standalone

hybrid wind/PV system with battery storage. *2007 European Conference on Power*

*Electronics and Applications*, (págs. 1-10). Aalborg, (Denmark).

BJagadish, K. B., & Kumar Ramoji, S. (2014). Optimal Economical sizing of a PV-Wind

Hybrid Energy System using Genetic Algorithm and Teaching Learning Based

Optimization. *International Journal of Advanced Research in Electrical*, 7353-7367.

Borges Rodriguez, C., & Sera sarmiento, A. (2014). Competividad de losm sistemas hibridos

eólicos fotovoltaicos para la electrificacion rural. *IM Ingenieria Mecánica*, 12 -22.

Bracco, S., Delfino, F., Pampararo, F., Robba, M., & Rossi, M. (2012). Economic and

Enviromental Perfomances Quantification of the university of Genoa Smart

Polygeneration Microgrids. *IEEE Xplore*, 593- 598.

Braco, S., Delfino, F., Procopio, R., & Rossi, M. (2016). A Model Predective Control

Approach for the Optimization of Polygeneration Microgrids and Demand Response

Strategies. *IEEE Xplore*, 1-6.

Buendia Yanez, A. (2014). *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA*

*INVERSIÓN EN PLANTAS*. Medellin: Universidad Nacional de colombia(sede

Medellin).

- Buonu , L., Sanseverino Riva, E., & Di Silvestre, M. L. (2016). Distributed Optimal power flow for islanded Microgrids : an application to the smart polygeneration Microgrids of the Genoa University. *IEEE Xplore*, 1-7.
- C. Miranda, R. F., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2014). Technical-economic potential of PV systems on Brazilian rooftops. *Renewable Energy*, 694-713.
- Caamaño Martín, E. (1998). *Edificios fotovoltaicos conectados a red eléctrica caracterización y análisis*. Madrid: Universidad de Madrid.
- Cabrera, C., Pasqualino, J., & Vanegas Chamorro, M. (2015). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano. *Prospect.*, 13(1), 68-75.
- Caliano, M. (2017). *Operation optimization and dynamic simulation of cogeneration system with thermal energy storage based on innovative operation strategy for residential applications*. Italia: Università di Napoli Federico II.
- Camargo Gómez, E., & restrepo Aristizabal, F. (s.f.). Financiación de proyectos de energía solar. *Colombia Energía (Bancolombia)*.
- Campoccia, A., Dusonchet, L., Telaretti, E., & Gaetano, Z. (2014). An analysis of feed-in tariffs for solar PV in six representative countries of the European Union. *Solar Energy*, 530 - 542.
- Casa, M., & Barrios, M. (2017). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Barcelona España: Marcombo S.A.
- Castillo Ramirez , A., Duque Villalva , F., & Verlásquez Valencia, A. J. (2014). Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico solar con baterías para zonas no interconectadas. *Tecnura*, 77-93.
- Cazau, P. (2006). *Introducción a la investigación a las ciencias sociales*. Buenos Aires: Universidad de Belgrano.

- Chacón Serna, D. F., Moreno Amaya, C. M., & Hernandez Mora, J. A. (2016). Photovoltaic Centrals: Colombian Context with respect to Spanish Speaking Continental Latin. *Dialnet*, 31 - 50.
- Climatescope. (28 de Noviembre de 2017). *The clean energy country competitiveness Index*. Obtenido de <http://global-climatescope.org/en/download/reports/climatescope-2017-report-en.pdf>
- Colciencias, UPME, & Universidad Antioquia. (Nov de 2015). *Grupo de manejo eficiente de la energia GIMEL*. Obtenido de [www.siel.gov.co/inicio/Generacion/Estudiodecostoniveladosdegeneracion/tabid/157/Default.aspx](http://www.siel.gov.co/inicio/Generacion/Estudiodecostoniveladosdegeneracion/tabid/157/Default.aspx)
- Corral Ponce, C., Villalba Garcia, L. A., Caberta Neco, R., & Valenzuela, R. A. (2014). Diseño de un sistema Híbrido eólico solar para suministro de energia electrica a zona rural en el estado de chihuahua. *CULCyT*, 46-62.
- Corte Constitucional, C. (2016). *Constitución Política del 1991*. Bogotá D:C:: CENDOJ.
- DANE. (15 de 5 de 2019). <https://geoportal.dane.gov.co/midaneapp/pob.html>. Obtenido de <https://geoportal.dane.gov.co/midaneapp/pob.html>
- De la Sota Sandéz, C. (2013). Modelo para el diseño del impacto en el desarrollo humano en proyectos de energia renovable y eficiencia energetica. *Politecnica*, 1 -106.
- Delfino, F., Ferro, G., Minciardi, R., Robba, M., & Rossi, M. (2017). Identification and management of an Electyrical Storage system for application in photovoltaic installation. *IEEE- ICCA*, 886 - 891.
- Diaf, S., Diaf, D., Behamel, M., Haddadi, M., & Louche, A. (2007). A methodology for optiomal sizing of autonomus hybrid OV/Wind system. *Energy Policy*, 5708-5718.

Economia. (23 de marzo de 2018). *Expansion,mx*. Obtenido de

<https://expansion.mx/economia/2018/03/23/mexico-con-gran-potencial-solar-y-5-000-millones-de-dolares-de-inversion>

Energia, M. d. (11 de Nov. de 2003). *Desarrollo de cadenas productivas*. Obtenido de

<https://www.mme.gov.br/luzparatodos/asp/default.asp?id=1>

Energy, H. (11 de junio de 2019). Obtenido de

[homerenergy.com/products/pro/docs/3.9/genertating\\_synthetic\\_wind\\_data.:](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.9/genertating_synthetic_wind_data.)  
[www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.9](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.9)

EOLICCAT. (6 de Octubre de 2016). *eoliccat.net*. Obtenido de [http://eoliccat.net/como-la-](http://eoliccat.net/como-la-generacion-aislada-de-electricidad-renovable-puede-cambiar-el-mundo/?lang=es)

[generacion-aislada-de-electricidad-renovable-puede-cambiar-el-mundo/?lang=es](http://eoliccat.net/como-la-generacion-aislada-de-electricidad-renovable-puede-cambiar-el-mundo/?lang=es)

Escudero, C. A., & B Boterio, S. (2009). Estado del Arte y una propuesta integradora para el estudio de la brecha energetica en la implementacion de la cogeneracion en el sector industrial. *Energetica*, 63-72.

Espinoza, R., Muñoz Ceron, E., Aguilera, J., & De la Casa, J. (2019). Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru. *Renewable Energy*, 414-427.

Fan , Y., & Ming , Y. (2017). Rural electrification in sub-Saharan Africa with innovative energy policy and new financing models. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 933-952  
<https://doi.org/10.1007/s11027-017-9766-8>.

Faria, F., Rodrigues, S., Torabikalaki, R., Cafôfo, N., Chen, X., Ramezani Ivaki, A., . . .

Morgado-Dias , F. (2016). Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. *Solar Energy (ScienceDirect)*, 81-95.

Figueroa , A., & Mejia, E. (2014). Sistema hibrido: alternativa de energización en zonas no interconectadas. *RenovaT Revista de estudios interdisciplinarios Ciencias Sociales Tecnologia Innovacion*, 44-64.

- Fikari Gkiala, S., Sigarchian Gahem, S., & Chamorro R, H. (2017). Modeling and simulation of a Autonomuos Hybrid Power System. *IEEE*, 1 - 6.
- Folgueiras Aguileras, J. (2012). *Fuentes de energia y orotoclolo de Kioto en la evolucion del sistema electrico Español*. Oviedo (España): Universidad de Oviedo.
- Forcano, R. (2003). Removal of Barriers to the Use of Renewable Energy Sources for Rural Electrification in Chile . *Master Thesis in Technology and >Policy*, 1-96.
- Fragoso Pissiotti, G. A. (2017). *Diseño y simulacion de un sistema híbrido(diesel fotovoltaica para el municipio de puerto nariño en la amazonia colombiana*. España: Universidad Politecnica de Valencia.
- FuturEnergy. (27 de Oct de 2014). *Bateria Saft para la mayor planta hibrida fotovoltaica diesel en Latinoamerica*. Obtenido de <http://futureenergyweb.es/baterias-saft-para-la-mayor-planta-hibrida-fotovoltaica-diesel-de-latinoamerica/>
- Garcia Pulgarin, J. D. (2014). *Potencial de generacion electrica con un sistema hibrido fotovoltaico -eólico en zonas no interconectada en colombia*. Medellin: Pontificia Bolivariana.
- García-Erviti, F., & et al. (2015). El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión . *SCIS*.
- Gaston Suvire, O., & Mercado, E. (2010). *Dynamic Modelling of a wind farm and Analysis of Its impact or a weak power system*. Argentina: Alison V Brito.
- GIMEL. (2015). *Costos nivelados de la generacion de energia electrica en colombia*. Medellin: Creg -UPME U Antioquia.
- Givler , T., & Lilienthal, P. (2005). Using HOMER Software NREL's Micropower Optimization Model, to explore the role of Gen -sets in small solar power system. *Technical Report NREL*, 1-31.



Guevara Díaz, J. M. (2013). Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica . *Terra Nueva Etapa*, 83.

Gutiérrez, R., Salvador, R., Gómez-de León, Berenice, A., & Eugenia, M. (2016).

Diagnóstico del consumo energético y propuesto del código regulador para las viviendas en Tamaulipas. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño Redalyc* (20), 1-112.

Higuera Aguilar, L. H., & Carmona Valencia, H. (2017). analisis de factibilidad de un proyecto de autogeneracion electrica fotovoltaica en colombia para áreas productivas menores de 10000m2. *Repositorio.eafit.edu.co*, 12.

Icontec, & Economico, M. d. (1998). *Código Electrico Colombiano NTC(2050)*. Bogotá: ICONTEC.

IDEAM. (s.f.). *Brillo solar*. Obtenido de Mapas de brillo solar promedio en Colombia:

[www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Brillo+Solar.pdf/4abdae7d-e781-4810-be5d-e9c5ee030b51](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Brillo+Solar.pdf/4abdae7d-e781-4810-be5d-e9c5ee030b51)

IEA. (Octubre de 2016). *CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights*. Obtenido de [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion\\_Highlights\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf)

IEA. (2017). Atlas de energia renovables. *IEA*.

Islam, R. F., Lallu, A., Mamun, A. K., Prakash, K., & Rattan, A. (2018). Impact of Wind Generators in Power System Stability. *Wseas Transactions in Power System*, 235-248.

Lazzeroni, P., & Repetto, M. (2016). Integration of Different Energy Vector in Polygeneration System. *IEEE*, 181 - 185.

Lopez Villarubia, M. (2013). *Ingeniería de la Energia Eólica*. México: Alfaomega Grupo Editor.

MADS. (13 de Mayo de 2014). *Ley 1715 de 2014*. Obtenido de

[www.andi.com.co/Uploads/Proyecto%20de%20Resolucion%20metas%20ambientales.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Proyecto%20de%20Resolucion%20metas%20ambientales.pdf)

MADS. (3 de Agosto de 2016). Obtenido de <http://portal.anla.gov.co/normativa/historial-leyes>

Magán Hinestrosa, A. (2004). *Instalacion de planta de poligeneracion en el hotel Salou*. Tarragona (España): ETSE.

Mardones Ruiz, F. (2013). Análisis de la Dinamica Funcional del Sistema de Innovacion Tecnológica en Chile para el Desarrollo de la Energia Eólica. *Universidad Dev Concepción Chile*, 1 - 136.

Mardonez, R. F. (2013). Análisis de la dinamica funcional del sistema de innovacion tecnologica en chile para el desarrollo de la energia eólica. *Universidad de concepcion*, 1-136.

Marín-Cano, C. C., & Mejía-Giraldo b, D. A. (2018). Levelized avoided cost of electricity model based on power system operation. *DYNA*, 79-84.

Martinez Montejano, R. C., Delgado Aranda, F., & Campos Canton, I. (2013). Sistema hibrido fotovoltaico-eolico para la generacion den energia electrica. *Revista academicab de investigacion (Tlatemoani)*, 1-24.

Mata Nuñez, O., Villalva Ortiz , D., & Behnke Palma, R. (2013). MICRORREDES EN LA RED ELÉCTRICA DEL FUTURO --- CASO HUATACONDO. *Ciencia y Tecnología*, 1-16.

Mata Torres , C., Escobar A, R., Cardemil M, J., & Simsek, Y. (2017). Solar Polygeneration for electricity production and desalination Case studies in Venezuela and Nortyhern Chile. *Elsevier*, 388-399.

Mejia Escobar, A., & Londoño, M. (2011). Sistema de almacenamiento de energia y su aplicacion en energia renovable. *Scientia Technica*, 12 -16.

Mercado, P. E., & Suvire, G. O. (2010). *Dynamic Modelling of a Wind Farmand Analysis of Its Impact on a weak Power System*. Croatia: Alisson V Brito.

Minenergia. (26 de Feb de 2018). Obtenido de [www.minenergia.gov.co](http://www.minenergia.gov.co)

MinMinas. (30 de Agosto de 2013). Obtenido de [minminas.gov.co](http://minminas.gov.co):

[http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Anexo General RETIE Res 9 0708](http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Anexo%20General%20RETIE%20Res%209%200708.pdf)

MinMinas. (11 de Agosto de 2015). Decreto 1623 de 2015. *Diario oficial*, pág. 3.

Morales Sanchez, F. (2013). Calculo de una tarifa de alimentacion para instalaciones fotovoltaica residenciales en Colombia. *Universidad Catolica de Colombia*, 13-39.

Morgan Fernandez, C. (2018). Análisis tecnico económico para instalacion de planta de biogas utilizando residuos vinícolas para la generacion de energia en la región de Maule. *Casan central Chile*, 1-113.

Mundial, B. (09 de Abril de 2014). *Energia sostenible para todos: resultados del sector*.

Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/10/sustainable-energy-for-all-results-profile>

NASA POWER Prediction of Worldwide Energy Resources. (07 de Dic de 2007). Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

OECD/IEA. (2017). World Energy Outlook 2017. *iea*, 1-14.

Ortiz , O. O., Pasqualino , J., & Castells , F. (2010). Evaluación ambiental basado en el análisis del ciclo de vida (ACV) en la fase de construcción de una edificación en Cataluña. *Afinidad LXVii*, 547, 175-181.

- Paleta , R., Pina, A., & Santos Silva, A. C. (2014). Poligeneration Energy Container: Designing and Testing Energy Services for Remote Developing Communities. *IEEE*, 1348 - 1355.
- Paredes Valenzuela, C. A. (2017). Modelacion de una planta híbrida CSP+ solar para la poligeneracion. *Pontificia Universidad de Chile*, 1-112.
- Pascualino , J., Cabrera , C., & Chamorro Vanegas, M. (2015). The environmental impacts of folic and solar energy implementation in the Colombian Caribe. *Prospect*, 68-75.
- Perez oyarzo, H. (2008). *Modelizacion Matematica para evaluar energias para sistemas eólicos e híbridos eólico- diesel*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Pissiotti, F., & Gary, A. (2017). Diseño y simulación de sistema hibrido(Diesel-Fotovoltaica) para el Municipiom de Puerto Nariño Amazonia Colombiana. *Universidad Politecnica de valencia*, 38.
- Prashant , K., Pukale, R., Kumabhar, N., & Patil, U. (2016). Optimal Design Configuration Using HOMER . *Science Direct (Procedia Technology)*, 499-504.
- Prats Ávila, D., Alesanco, R., & Alonso Veliz, J. (2011). sistemas híbridos con base en las energias renovables para el suministro de energias a plantas desalinizadoras. *Ingenieria Mecanica*, 22-30.
- Prieto Hernandez, A. P. (18 de Octubre de 2014). *Repository Universidad Catolica*. Obtenido de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1926/1/Servicios\\_Publicos\\_Domiciliarios\\_un\\_derecho\\_de\\_la\\_Poblacion\\_Vulnerable.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1926/1/Servicios_Publicos_Domiciliarios_un_derecho_de_la_Poblacion_Vulnerable.pdf)
- Pulgarin Garcia, J. D. (2014). Potencial de generacion eléctrica con sistema hibridos fotovoltaico -eólico en znc en colombia. *Pontificia Bolivariana*, 97.
- Sanchez Gomez , M. C. (2015). Metodologia de la investigacion en Pedagogía Social (Avance cualitativo y modelos mixtos). *Interuniversitaria*, 21 -34.

Secretaria del Senado de Colombia. (15 de junio de 2019). *Ley 1715 de 2014*. Obtenido de [www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley 1715\\_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

Serra, L., Ramos, J., Lozano, M., & Ensinas, A. (2007). Congreso Internacional sobre el Desarrollo Medio Ambiente y Recursos Naturales (Cochabamba-Bolivia).

*Poligeneración: hacia una utilización sostenible de los recursos naturales* (págs. 1-9).

Zaragoza (España): : Feyen.

Skoplaski, E., Boudouvis, A., & Palyvos, J. A. (2008). A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 1397-1402.

Solar Technology AG. (09 de 01 de 2013). *Proyecto híbrido de energia fotovoltaica y diésel en el rango Megavatios en Suáfrica*. Obtenido de

<http://www.interempresas.net/Energia/Articulos/104199-Primer-proyecto-hibrido-energia-fotovoltaica-diesel-rango-megavatios-Sudafrica.html>

SSPD. (2017). *ZNI diagnosticode la prestacion de servicio de energia electrica*. Bogota: Superservicios.

Toledo Arias , C. A. (2013). *Evaluacion de la energia solar FV como solucion de la dependencia energeticas de la zonas rurales de colombia*. Casrtagena (España): Universidad Politécnica de Cartagena.

Toledo Arias, C. (2013). Evaluacion de la energia solar como solucion a la dependencia energetica de zonas rurales en colombia. *etsii UPCT*, 7\_8.

UNAM, C. (2010). *Linea base de tecnologia energetica Estado del arte*. Obtenido de

[http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/Mexico\\_Productos\\_1\\_y\\_2\\_\\_Esp\\_\\_02.pdf](http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/Mexico_Productos_1_y_2__Esp__02.pdf)

UPME. (Abril de 2007). *Plan Energetico Nacional Contexto y Estrategias 2006-2025*.

Obtenido de Plan Energetico Nacional 2006 -2025:

<https://repositoriobi.minminas.gov.co>

UPME, & CORPOEMA. (30 de Dic. de 2010). *Formulacion de un plan de desarrollo para fuentes no convencionales de energia en Colombia*. Obtenido de

[http://www.upme.gov.co/sigic/documentosf/vol\\_1\\_plan\\_desarrollo.pdf](http://www.upme.gov.co/sigic/documentosf/vol_1_plan_desarrollo.pdf)

UPME, & IDEAM. (2001). Obtenido de Tiempo y Clima-Viento energia eólica:

[www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/viento-energia-eolica](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/viento-energia-eolica)

USAID. (2017). *Programa de energia limpias para colombia informe final* . Bogotá: USAID  
N AID-514-C-12-00002.

Vargas, T., & Abrahamse, A. (2014). TRAZADOR DE CURVAS I-V DE CÓDIGO

ABIERTO PARA MONITOREO DE RENDIMIENTO DE. *INVESTIGACIÓN & DESARROLLO UPB*, 100-116.

Vázquez Zavaleta, O. (15 de Junio de 2016). *Las energias renovables en America Latina (El Financiero)*. Obtenido de [www.elfinanciero.com.mx](http://www.elfinanciero.com.mx)

Vega de Kuyper , J., & Morales Ramirez, S. (2014). *Fuentes de Energia Renovables y no Renovables Aplicaciones*. Mexico: Alfaomega.

Vega de Kuyper, J. C., & Morales Ramirez, S. (2014). *Fuentes de energias renovables y no rernovables aplicaciones*. México: Alfaomega.

Velasco Muela, E. (2010). *Definicion de caracterisrtuicas tecnicas y economicas de tres zonas no interconectadas de colombia para la implementacion de fuentes renovables de energia*. Bogotá: Universidad de la Salle.

Villamar , E., Turmalie, W., & Falcones , S. (2010). Diseño y simulaciondel control de un compensador sincrónico estatico de distribucion trifasico. *ESPOL guayaquil*, 1-6.

- Wanner, B. (6 de Febrero de 2019). *Is exponential growth of solar PV the obvious conclusion?* Obtenido de [iea .org: /www.iea.org/newsroom/news/2019/february/is-e](http://www.iea.org/newsroom/news/2019/february/is-e)
- Werner Ortega, A., & Cabrera Errasti, M. (2012). Diseño por simulacion de un sistema hibrido eólico- fotovoltaico para una vaqueria en cuba. *Ingenieria Mecanica*, 123 - 131.
- Zapata, C. M., Zuluaga , M. M., & Dyner, I. (2005). Fuentes alternativas de generacion de energia incentivos y mandatos regulatorios una aproximacion teorica al caso Colombiano. *Revista Energetica*, 55-63.
- Zhang, X., Chen, H., Xu, Y., wen, L., He, F., Guo, H., & Huang, Y. (2016). Desig and performance analysis of Distibuted generation system on a diesel engine and compressed air energy storage. *Energy Procedia*, 4492-4498.

## ANEXOS

## Anexo 1

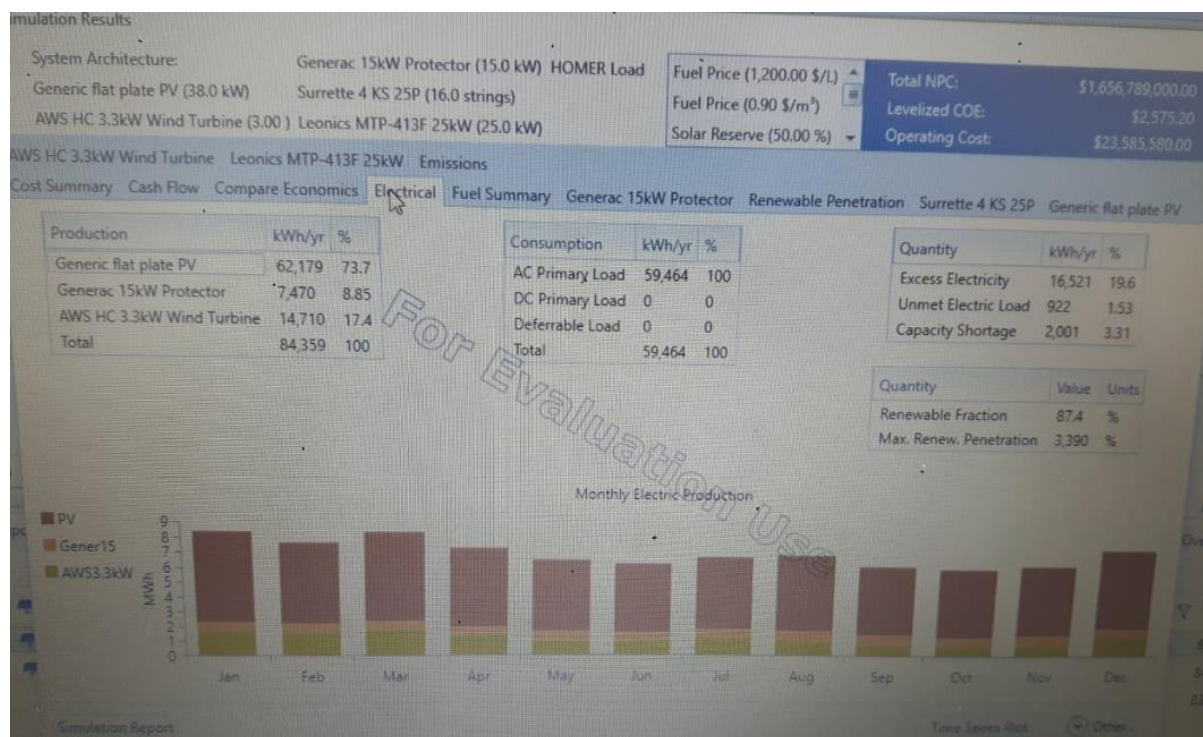
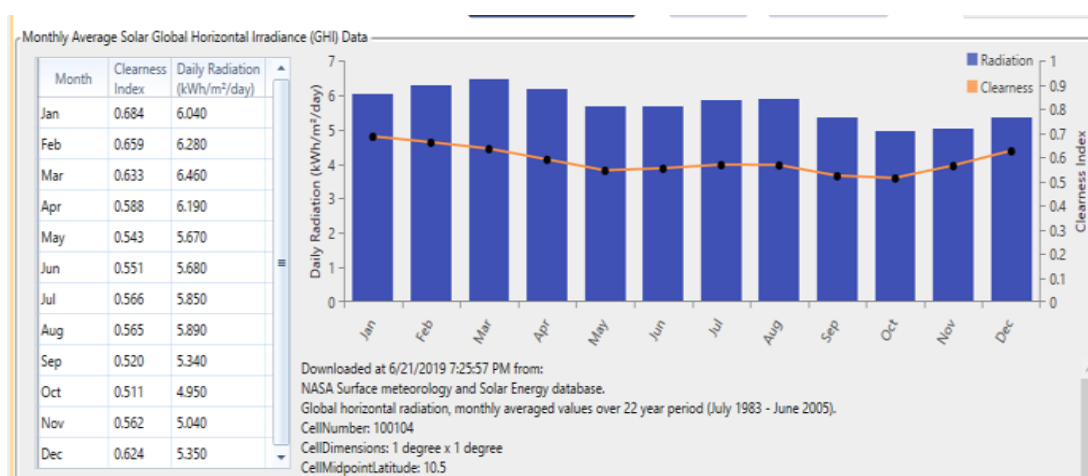
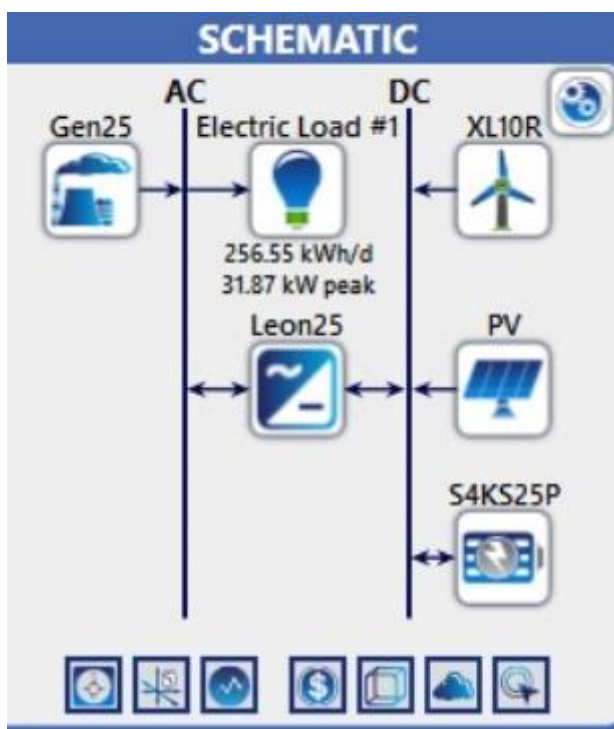


Figura 24 Producción de electricidad de los generadores PV-Eólico- Diésel







## Anexo 2

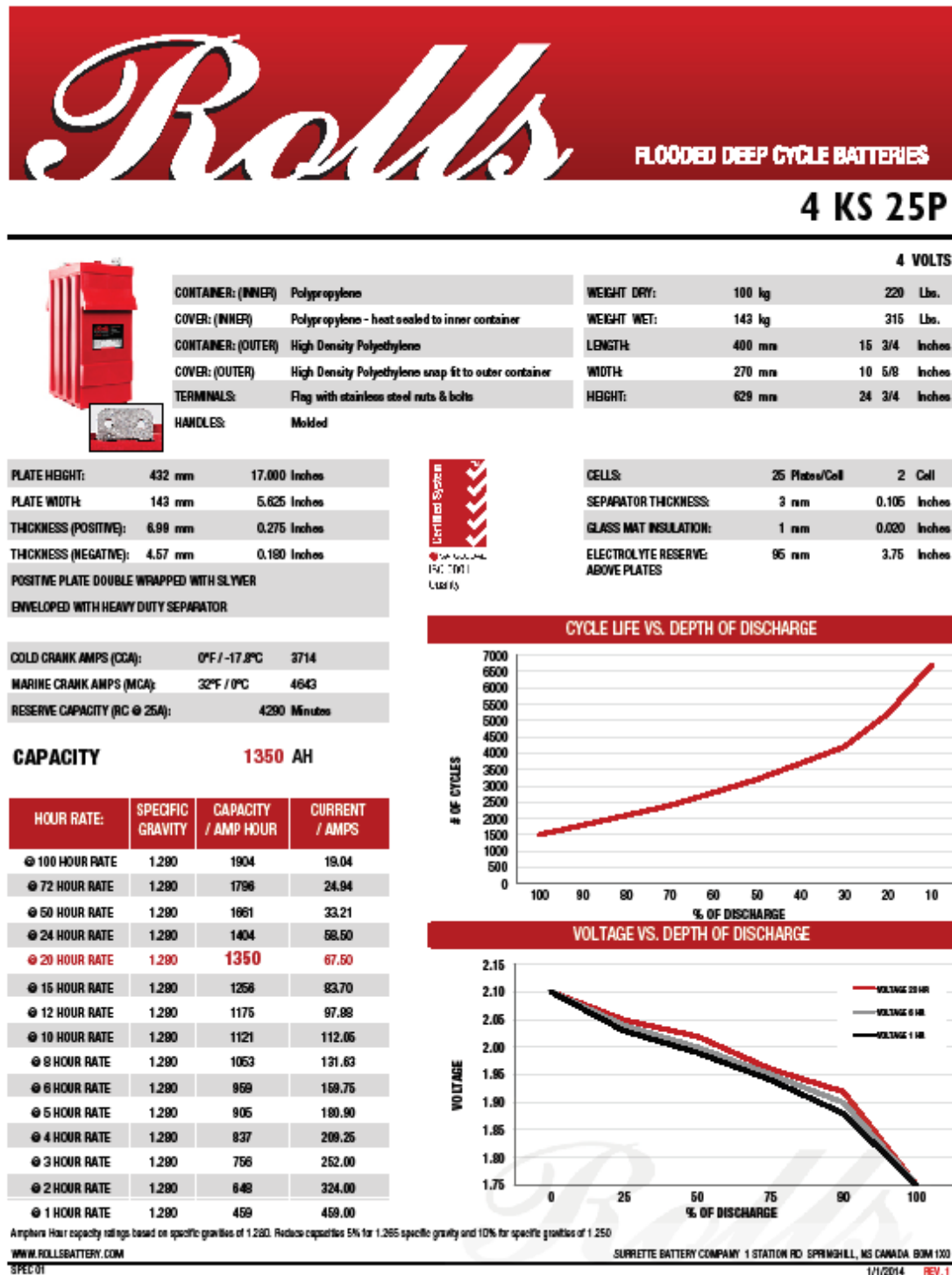
Tabla 42

Presupuesto general del sistema de Poligeneración Sector olivos (Cañaveral)

A.	Información General					
Proyecto	Sistema Fotovoltaico Individual					
Lugar:	Corregimiento Cañaveral Sector Olivos Municipio de Turbaco Bolívar					
Descripción	Suministro AC para pequeñas Demandas					
		Referencia	Unidad	Costo Unitario \$	Cantidad	Total
<b>1 Preinversion</b>						<b>15.000.000,00</b>
1,1	Ingeniería y diseño (Elect. Civil, mecánico)	3	Días /hombre	1.500.000,00	10	15.000.000,00
		Referencia	Unidad	Costo Unitario \$	Cantidad	Total
<b>2,00 Inversion</b>						<b>1.329.231.762,15</b>
2,10	<b>Adquisición sistemas y equipos</b>					449.251.010,00
2,11	Modulos solares	330	Wp	837.760,00	154	129.015.040,00
2,12	Regulador maximizador 80 A 16-67 V 12-24-48V MPPT 80-600 Sch	80	A	3.474.720,00	1	3.474.720,00
2,13	Banco de baterías suserrete 4 KS 25 P	1811	Ah	3.000.000,00	60	180.000.000,00
2,14	Inversor- leonics MTP 413F 25kW	330	Wcont	45.000.000,00	1	45.000.000,00
2,15	Balance de sistema(tableros, breakers, cableado, cooper weld)			245.360,00	35	8.587.600,00
2,16	Intalación interna(ductos, cables, rosetas, interruptores, tomacorrientes)			202.750,00	35	7.096.250,00
2,17	Estructura de montaje(tubo metalico 3"x6m+herraje+cemento de fija			187.000,00	35	6.545.000,00
2,18	Tableros (control sincronización)					
2,19	Sistema de medición					
2,20	Transformador elevador)Trifasico serie 15kv BA-PG UBH 00xx			38.032.400,00	1	38.032.400,00
2,21	Almacenamiento combustibles			9.000.000,00	1	9.000.000,00
2,22	Configuación de la planta					
2,23	Soporte en aluminio(paneles)			5.000.000,00	1	5.000.000,00
2,24	Accesorios electricos para las 35 casas			500.000,00	35	17.500.000,00
2,25	<b>Transporte</b>					<b>25.692.000,00</b>
2,26	Origen: Cartagena					
	Destino:Cañaveral	9246	Kg			
	Tipo: Terrestre					
	Carga					
	Modulos	8,2 C/u	kg	2000	6944	13.888.000,00
	Baterías	21 c/u	kg	2000	1302	2.604.000,00
	otros			2000	1000	2.000.000,00
	Transporte marítimo	20	pies	3600000	2	7.200.000,00
	<b>subtotal obra civil -terreno y otros</b>					<b>314.850.940,00</b>
2,30	Obras civiles		global	50.000.000,00	1	50.000.000,00
2,31	Compra de Terreno 1504 m²			100.000,00	1.504	150.400.000,00
2,40	Montaje eléctrico y mecánico e instalación		global	20.000.000,00	1,00	20.000.000,00
	Ingeniero	1	mes	3.322.830,00	6	19.936.980,00
	Ayudante	1	mes	1.295.220,00	6	7.771.320,00
	Viaticos	1	mes	100.000,00	12	1.200.000,00
2,41	Costo O & M		anual	30.542.640,00	1	30.542.640,00
						0,00
2,60	Estudios ambientales(EIA-PMA)	Global		20.000.000,00	1	20.000.000,00
	Permisos(estimativo)			15.000.000,00	1	15.000.000,00
2,70	<b>Capacitación</b>	1	Unidad	500.000,00	7	<b>3.500.000,00</b>
2,71	Obras de infraestructura para la comunidad (parques etc)	Global		217.010.958,78	1	<b>217.010.958,78</b>
	Costo Total Directos de Suministros e Instalación					1.025.304.908,78
	Administración de proyecto(10%), Imprevisto(5%), Utilidades(5%)					232.155.509,76
	Inspección (1%)					10.253.049,09
	Interventoría técnica (6%)					61.518.294,53
	<b>Costo Total de Inversion del SFV</b>					<b>1.329.231.762,15</b>
	<b>Costo total De Inversion del Sistema Eólico (turbina y torre)</b>					57.030.000,00
	<b>Costo de Inversion planta diesel</b>					17.900.000,00
	<b>Suministro de red primaria ,secundaria y transformador</b>	km		60.000.000,00	0,50	30.000.000,00
	<b>costo de O &amp; M</b>					<b>30.542.640,00</b>
	<b>Total Inversion</b>					<b>1.464.704.402,15</b>

Fuente: Autor 2019

## Anexo 3



**Anexo 4**

Las memorias de cálculos están adjunto a este documento y son:

Cálculos del sistema fotovoltaicos (en Excel)

Cálculos del sistema eólico (en Excel)

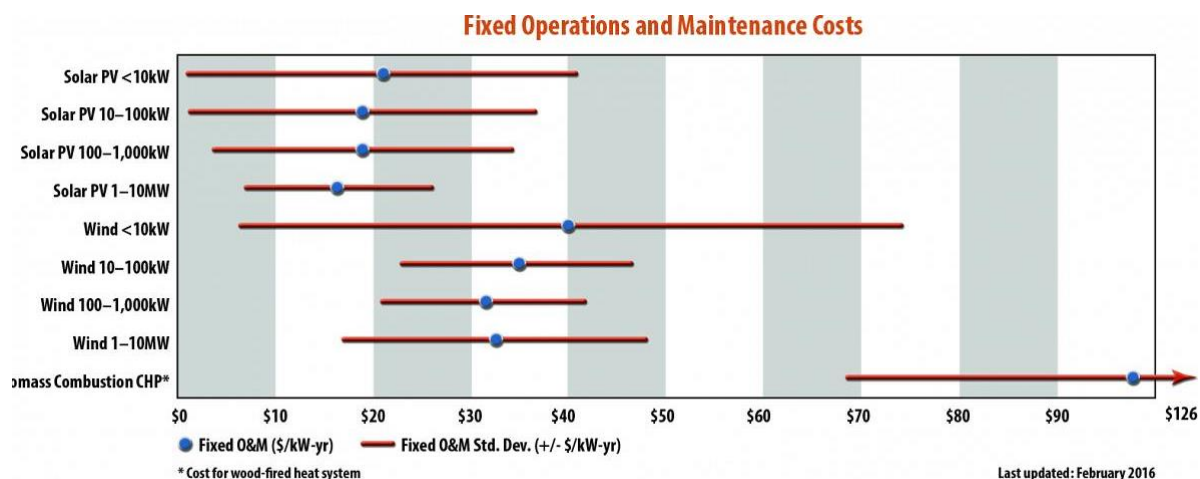
Cálculos de la evaluación económica (en Excel)

Anexo 5

Inversor

Características del Producto							
No. de Modelo	MTP-412E	MTP-412F	MTP-413E	MTP-413F	MTP-414F	MTP-415F	
Datos de salida AC							
Potencia Maxima AC	15 kW	15 kW	25 kW	25 kW	30 kW	45 kW	
Tension nominal de red AC	230, 380, 415 V	230, 380, 415 V	230, 380, 415 V	230, 380, 415 V	230, 380, 415 V	230, 380, 415 V	
Rango de frecuencia	49,95-60,06 Hz	49,95-60,06 Hz	49,95-60,06 Hz	49,95-60,06 Hz	49,95-60,06 Hz	49,95-60,06 Hz	
Frecuencia	50, 60 Hz	50, 60 Hz	50, 60 Hz	50, 60 Hz	50, 60 Hz	50, 60 Hz	
Distorsion (THD)	< 4 %	< 4 %	< 4 %	< 4 %	< 4 %	< %	
Numero de fases de inyeccion	3	3	3	3	3	3	
Eficiencia maxima	94 %	94 %	94 %	94 %	95 %	95 %	
Datos generales							
Dimensiones (A/A/F)	1880x600x1050 mm	1880x600x1050 mm	1880x600x1050 mm	1880x600x1050 mm	1880x600x1050 mm	1880x600x1050 mm	
Peso	420 kg	360 kg	460 kg	380 kg	500 kg	550 kg	
Transformador	Si						
Humedad	0-95 %						
Enfriamiento	Ventilador						
Visualizacion	LCD						
Características de Proteccion							
Características de Proteccion	Proteccion Corto-Circuito, Proteccion Contra Sobrecarga, Proteccion contra Sobretensiones, Proteccion contra Sobreintensidades, Proteccion contra Temperatura Excesiva						

## Anexo 6



## Anexo 7

IMPUESTO	DEFINICIÓN	TARIFA
Renta y Ganancia Ocasional	El impuesto sobre la renta tiene cubrimiento nacional y grava las utilidades derivadas de las operaciones ordinarias de la empresa. El impuesto de ganancia ocasional es complementario al impuesto sobre la renta y grava las ganancias derivadas de actividades no contempladas en las operaciones ordinarias.	<p>Impuesto de renta: 33%<sup>1</sup> para 2019</p> <p>Ganancia Ocasional: 10%</p>